

**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Dirección General de Investigación**  
**-DIGI-**

**Programa Universitario sobre estudios para la paz**

**INFORME FINAL**

**Efecto de la vegetación natural sobre la comunidad de abejas silvestres y el servicio  
ecosistémico de polinización en plantaciones de café en Guatemala**

**Nombres de los integrantes del equipo de investigación:**

Coordinadora: Eunice Enríquez

Investigadora: Natalia Escobedo

Investigadora asociada: Patricia Landaverde

Investigador: Pedro Pardo

Auxiliares de investigación: Quebin Casiá

Javier Morales

Unidad de investigación avaladora

Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas, Facultad de Ciencias Químicas y

Farmacia

Centro de estudios Conservacionistas -CECON-

29 de noviembre de 2018

**Contraportada (reverso de la portada)**

Dr. Erwin Humberto Calgua Guerra  
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar  
Coordinador General de Programas

Lic. Roberto Barrios  
Coordinador del Programa de Investigación

Dra. Eunice Enríquez  
Coordinadora del proyecto

Licda. Natalia Escobedo  
Investigadora

Dra. Patricia Landaverde  
Investigadora

M.Sc. Pedro Pardo  
Investigador

Br. Quebin Casiá  
Auxiliar de investigación II

Br. Javier Morales  
Auxiliar de investigación II

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2018. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la Partida Presupuestaria 4.8.63.8.60. durante el año 2018 en el Programa Universitario de Investigación sobre estudios para la Paz.

Financiamiento aprobado por Digi: Q 294,492.90 Financiamiento ejecutado: Q 218,492.90

## Índice

1.	<b>Resumen:</b> .....	<b>8</b>
2.	<b>Abstract:</b> .....	<b>9</b>
3.	<b>Introducción</b> .....	<b>10</b>
4.	<b>Planteamiento Del Problema</b> .....	<b>12</b>
5.	<b>Preguntas De Investigación</b> .....	<b>13</b>
6.	<b>Delimitación En Tiempo Y Espacio</b> .....	<b>13</b>
7.	<b>Marco Teórico Y Estado Del Arte</b> .....	<b>14</b>
8.	<b>Objetivo General</b> .....	<b>24</b>
9.	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>24</b>
10.	<b>Hipótesis</b> .....	<b>24</b>
11.	<b>Materiales Y Métodos</b> .....	<b>24</b>
	<i>11.1. Enfoque Y Tipo De Investigación</i>	<b>24</b>
	<i>11.2. Técnicas E Instrumentos</i>	<b>24</b>
	<i>11.3. Recolección De Datos</i>	<b>25</b>
	<i>11.4. Procesamiento De Datos Y Plan De Análisis</i>	<b>28</b>
12.	<b>Vinculación, Difusión Y Divulgación</b> .....	<b>31</b>
13.	<b>Resultados</b> .....	<b>32</b>

<b>13.1. Biodiversidad De Abejas En Café Y En Vegetación Asociada .....</b>	<b>32</b>
<b>13.1.1. Comunidad De Abejas En Café Y En Vegetación Asociada.....</b>	<b>32</b>
<b>13.1.2. Comparación De Diversidad Y Composición De Abejas Colectadas En Café Y Vegetación Asociada.....</b>	<b>32</b>
<b>13.2. Biodiversidad De Vegetación En Las Proximidades Del Café.....</b>	<b>38</b>
<b>13.2. Efecto De Variables Del Paisaje Y Manejo En La Diversidad De Abejas En El Café. 40</b>	
<b>13.4. Eficiencia De Polinización Del Café Y Efecto De Variables Del Paisaje Y Comunidad De Abejas.....</b>	<b>42</b>
<b>13.4.1. Eficiencia De La Polinización .....</b>	<b>42</b>
<b>13.4.2. Efecto De Variables Del Paisaje Y Comunidad De Abejas En El Servicio De Polinización. ....</b>	<b>44</b>
<b>14 Discusión .....</b>	<b>45</b>
<b>14.1 Biodiversidad De Abejas En Café Y En Vegetación Asociada .....</b>	<b>45</b>
<b>14.1.1 Comunidad De Abejas En Café Y En Vegetación Asociada.....</b>	<b>45</b>
<b>14.1.2 Comparación De Diversidad Y Composición De Abejas Colectadas En Café Y Vegetación Asociada.....</b>	<b>46</b>
<b>14.2 Biodiversidad De Vegetación En Las Proximidades Del Café.....</b>	<b>47</b>
<b>14.3 Efecto De Variables Del Paisaje Y Manejo En La Diversidad De Abejas En Café. 48</b>	
<b>14.4 . Eficiencia De Polinización Del Café Y Efecto De Variables Del Paisaje Y Comunidad De Abejas.....</b>	<b>49</b>

<b>14.4.1</b>	<b>Eficiencia De La Polinización .....</b>	<b>49</b>
<b>14.4.2</b>	<b>Efecto De Variables Del Paisaje Y Comunidad De Abejas Sobre Servicio De Polinización. ....</b>	<b>50</b>
<b>15</b>	<b>Conclusiones. ....</b>	<b>53</b>
<b>16</b>	<b>Impacto Obtenido .....</b>	<b>55</b>
<b>17</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>56</b>
<b>18. Anexo</b>	<b>.....</b>	<b>63</b>
<b>19</b>	<b>Apéndice .....</b>	<b>64</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Variables de la diversidad de abejas para cada población de las abejas colectadas en café y para las abejas colectadas en flores en la vegetación asociada.....	33
Tabla 2. Variables de la diversidad de plantas para cada sitio asociado a una finca de café.....	39
Tabla 3. Valores de PSP para cada población para peso del fruto y porcentaje de éxito...	43
Tabla 4. Modelos lineales analizando el efecto de variables de la comunidad de abejas y del paisaje sobre la eficiencia de polinización del café.....	45

## Índice de figuras

Figura 1. Flor y frutos de café.....	15
Figura 2. Mapa mostrando los pares de sitios de muestreo.....	26
Figura 3. Gráfico de línea de la relación entre abundancia de abejas colectadas en café y abundancia de abejas colectadas en vegetación asociada .....	34
Figura 4. Gráfico de línea de la relación entre riqueza de abejas colectadas en café y la riqueza de abejas colectadas en vegetación asociada .....	34
Figura 5. Gráfico de línea de la relación entre la composición de abejas colectadas en café y en vegetación asociada .....	35
Figura 6. Dendrograma relacionando las poblaciones por diversidad de abejas colectadas sobre cultivos de café con índice de disimilitud (Jaccard).....	36
Figura 7. Dendrograma relacionando las poblaciones por diversidad de abejas colectadas sobre flores de vegetación asociada con índice de disimilitud (Jaccard).....	37
Figura 8. Mapa de la magnitud del cambio de composición de especies entre las diferentes poblaciones de abejas colectadas sobre flores de café.....	37

Figura 9. Mapa de la magnitud del cambio de composición de especies entre las diferentes poblaciones de abejas colectadas sobre flores de vegetación asociada.....38

Figura 10. Mapa de la magnitud del cambio de composición de especies entre las diferentes poblaciones de plantas visitadas por abejas.....39

Figura 11. Cannonical correspondence analysis (CCA) para analizar el efecto del paisaje sobre la composición de abejas colectadas sobre café.....41

Figura 12. Cannonical correspondence analysis (CCA) para analizar el efecto del paisaje sobre la composición de abejas colectadas sobre vegetación asociada.....41

Figura 13. Valores de PSP para cada población para peso del fruto y porcentaje de éxito de producción de frutos.....43

## **Efecto de la vegetación natural sobre la comunidad de abejas silvestres y el servicio ecosistémico de polinización en plantaciones de café en Guatemala.**

### **1. Resumen**

Guatemala es uno de los principales productores de café a nivel mundial. Sin embargo, en los últimos años, la producción de café se enfrenta a una grave crisis de declive en la producción de café debido a enfermedades y los efectos drásticos de cambios de temperatura. El último reporte de la plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos -IPBES- ha señalado que en áreas neo-tropicales, especialmente las deforestadas, el cambio climático será la mayor amenaza para la diversidad de abejas y para el servicio de polinización que ellas brindan. Guatemala es uno de estos sitios bajo amenaza y los efectos ya se observan en la producción de café. Se ha sugerido que la presencia de áreas boscosas puede actuar como amortiguador de los efectos ambientales, no solo para enfermedades sino para incrementar la producción a través de la polinización. Investigaciones en plantaciones de sandía en California, han demostrado el efecto amortiguador del bosque, para contrarrestar los efectos dañinos de condiciones ambientales extremas en la producción. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es analizar la composición de la comunidad de abejas, en dos tipos de manejo extremos, en plantaciones de café: café orgánico y café convencional. Así como, determinar cómo la estructura del paisaje y atributos de vegetación puedan ayudar a identificar las condiciones que favorecen la diversidad de las comunidades de abejas y del servicio de polinización que ellas proveen. Se observó que la producción de café aumentó hasta un 40% en presencia de abejas silvestres. La riqueza de abejas silvestres se vio afectada positivamente por la presencia de riqueza y abundancia de plantas con flores, las cuales proveen de recursos cuando el café no está en floración; además de proveer un buffer para condiciones ambientales extremas. Sin embargo, las mismas también pueden representar áreas de competencia para el suministro de polinizadores al café, por lo cual estudios más detallados sobre el manejo de las mismas es necesario.

**Palabras clave:** cambio climático, abundancia de flores, polinización, producción de café, bosque, deforestación.



## 2. Abstract

Guatemala is one of the main producers of coffee worldwide. However, in recent years, coffee production is facing a serious crisis of decline in coffee production due to diseases and the drastic effects of temperature changes. The latest report from the Intergovernmental platform on Biodiversity and Ecosystem Services -IPBES- has indicated that in neo-tropical areas, especially deforested areas, climate change will be the greatest threat to the diversity of bees and to the pollination service they provide. Guatemala is one of these sites under threat and the effects are already observed in coffee production. It has been suggested that the presence of forested areas can act as a buffer against environmental effects, not only for diseases but also to increase production through pollination. Research in California watermelon plantations has demonstrated the buffering effect of the forest to counteract the damaging effects of extreme environmental conditions on production. Therefore, the objective of this paper is to analyze the composition of the bee community, in two types of extreme crop management, in coffee plantations: organic coffee and conventional coffee. We also have the goal to determine how landscape structure and vegetation attributes can help identify the conditions that favor the diversity of bee communities and the pollination service they provide. It was observed that coffee production increased up to 40% in the presence of wild bees. The richness of wild bees was positively affected by the presence of richness and abundance of flowering plants which provide resources when the coffee is not flowering and provide a buffer for extreme environmental conditions. However, they can also represent areas of competence for the supply of pollinators to coffee. So therefore we recommend more detailed studies on the management of these type of áreas close to coffee platnation to fully udnerstand they effect of the service of pollination.

**Key words:** climate change, flower abundance, pollination, coffee production, forest, deforestation.



### 3. Introducción

Los servicios ecosistémicos, que han sido definidos como los beneficios para el bienestar humano proporcionados por los organismos que interactúan en los ecosistemas, están considerados en riesgo (Daily, 1997). La polinización por los animales silvestres es un servicio ecosistémico clave que se cita comúnmente como un ejemplo de un servicio ecosistémico en peligro (Ghazoul, 2005; Kevan & Phillips, 2001; Steffan-Dewenter, Potts, & Packer, 2005). La polinización animal es importante para la reproducción sexual de muchos cultivos (Westerkamp & Gottsberger, 2000) y la mayoría de las plantas silvestres (Ashman et al., 2004; Burd, 1994;). La producción de la mayoría de las plantas depende de la polinización exitosa por medio de viento o animales. Sin embargo, alrededor del 87.5% de las plantas con flores son polinizadas por animales (Ollerton, Winfree, & Tarrant, 2011). Entre los animales que polinizan en un alto porcentaje están las abejas (Buchmann & Nabham, 1996).

No obstante, la producción de frutos y semillas en los agro-ecosistemas también puede depender, entre otros factores, de la dinámica de la población (por ejemplo, la variabilidad temporal de su abundancia), de las especies polinizadoras, la eficacia de la polinización de diferentes especies polinizadoras, la competencia entre plantas cultivadas y silvestres por los polinizadores, la disposición de fragmentos de vegetación entre los cultivos, disponibilidad de recursos (distintos de los cultivos) para los polinizadores, sistemas de manejo de la tierra utilizados por los agricultores, la existencia de herbivoría, la disponibilidad de nutrientes y condiciones micro climáticas (Turnbull, Crawley, & Rees, 2000). El último reporte sobre polinización, polinizadores y producción de alimentos ha señalado que en áreas más sensibles como los neotrópicos la amenaza de cambio climático especialmente en áreas altamente deforestadas se está convirtiendo en la mayor amenaza no solo para la diversidad de abejas sino también para el servicio de polinización que ellas brindan (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2016).



Hablando más específicamente sobre polinización, Bawa (1990) estimó que entre el 89 y el 99% de todas las especies de plantas con flores en bosques tropicales de tierras bajas son polinizados por animales, y las abejas son los polinizadores más importantes (Roubik, 1995). Además, un tercio de la dieta humana total en países tropicales se deriva de plantas polinizadas por insectos (Crane & Walker, 1983). Así que solo un 30% de los cultivos son totalmente dependientes de la polinización animal y hasta ahora sólo han sido descrito pocos ejemplos claros de bajo rendimientos de cultivos resultantes ante la falta de los polinizador (Richards, 2001).

Roubik (1995) proporcionó una lista detallada de 1330 especies y compiló una lista de sistemas potenciales de reproducción y taxones polinizadores para los cultivos tropicales. De esta lista, alrededor del 70% de los cultivos tropicales parece tener al menos una variedad para la cual la producción es mejorada por la polinización animal, principalmente de abejas silvestres. A pesar de su importante papel como vectores del polen, estudios específicos en áreas neotropicales son raros (Bawa, 1990; Roubik, 1992). Algunos estudios en los sistemas de polinización del café de tierras bajas (*Coffea Canephora* Pierre ex Froehner) y café de alta montaña (*Coffea arabica* L.) en Indonesia, han encontrado evidencia significativa de que las abejas silvestres contribuyen al incremento de frutos de café en ambas especies (Klein, Steffan-Dewenter, & Tschardt, 2003a).

Sin embargo, estudios más específicos en Latinoamérica, principalmente en los países que son fuertes productores como Guatemala, es aún necesaria. Así mismo, se hace necesario el estudio de la relación del paisaje, las abejas silvestres y la producción en los agro-ecosistemas de café en Guatemala, para poder recomendar estrategias de manejo que favorezcan la producción y a las comunidades de abejas silvestres.



#### 4. Planteamiento del problema

El café es una plantación de importancia económica, principalmente para muchos países latinos donde es una de las primeras fuentes económicas. Guatemala es el décimo país productor de café, con un porcentaje del 2.7% (International Coffee Organization, 2017). El 75% de café orgánico procede de Latinoamérica, donde cinco países entran en la lista de mayores productores de café orgánico (Perú, México, Brasil, Honduras y Bolivia). Pero, desafortunadamente Guatemala no entra en la lista de los primeros cinco países de mayor producción de café orgánico. En los últimos años se ha reportado una crisis en la producción de café debido a los cambios drásticos de temperatura y fenómenos relacionados con el cambio climático. La disponibilidad de biodiversidad de polinizadores ha demostrado que pueden actuar como un buffer que contrarreste los efectos negativos del cambio climático en la provisión de servicios de polinización en cultivos de importancia económica como sandía (Rader, Reilly, Bartomeus & Winfree, 2013).

Sin embargo, la gestión para la polinización no es común entre los productores de café en ningún país latinoamericano y menos en Guatemala; muy a menudo, este aspecto ni siquiera se considera una práctica de manejo (Vergara & Badano, 2008). Los estudios detallados de los sistemas de polinización de cultivos han sido hasta ahora incompletos o desactualizados (Klein et al., 2003a), lo que pone en peligro el éxito de un agroecosistema de importancia económica como el café, ya que sus frutos han demostrado ser dependientes de polinización por abejas (Klein et al., 2003a).

Klein y colaboradores (2003a) presentó evidencia experimental que la polinización cruzada por las abejas provoca un aumento significativo en el conjunto de frutos, no sólo de las especies de café auto-estériles, sino también de las auto-fértiles. La implicación práctica es que el rendimiento del café puede ser mejorado mediante el manejo del paisaje para el aumento de la visita de las flores por las abejas. Sin

embargo, la función de los polinizadores y su relación con el entorno en agro-ecosistemas es un estudio integral que incluye un gran entendimiento de la composición de la comunidad de polinizadores, las redes de polinizadores y los servicios ecosistémicos relacionados con los cultivos, en este caso el café (Saturni, Jaffé & Metzger, 2016).

Por lo mismo es necesario desarrollar investigación que analice la composición de la comunidad de abejas en los dos extremos de cultivos de café manejados a nivel mundialmente; café orgánico y café convencional (donde predomina en monocultivo), principalmente ante el amenazador escenario de alta sensibilidad de la producción de café debido al cambio climático en Guatemala.

De igual manera, el entendimiento de cómo la estructura del paisaje, y particularmente de ciertos atributos de vegetación, puede favorecer la diversidad de las comunidades de abejas y por lo tanto el servicio de polinización que ellas proveen, es de suma importancia y la principal meta de este trabajo.

## **5. Preguntas de investigación**

1. ¿Existe diferencia en la composición de la comunidad de abejas y del servicio ecosistémico de polinización entre plantaciones de café orgánico y plantaciones de café convencional?
2. ¿Existe algún efecto del paisaje y de los atributos de la vegetación alrededor de las plantaciones de café que favorezca a la comunidad de abejas silvestres y el servicio ecosistémico de polinización?

## **6. Delimitación en tiempo y espacio**

7.1 Delimitación temporal: De febrero a marzo, se realizó un acercamiento a comunidades y medición de variables de paisaje y de indicadores para determinar los servicios ecosistémicos en el agro-ecosistema de café. De abril a septiembre, se realizó la colecta de abejas y experimentos de polinización en campos de café



orgánico y convencional. De octubre a diciembre, se realizó el análisis de datos e informe.

7.2 Delimitación espacial: Es estudio se realizó en siete sitios distribuidos a lo largo de la zona cafetalera de Guatemala. Se trabajó en pares de cultivos o plantaciones: uno orgánico y uno convencional. En seis departamentos de Guatemala, cubriendo una distancia de 100 km. Los sitios incluyeron los municipios y departamentos de Santa Bárbara (Suchitepéquez), El Palmar (Quetzaltenango), San Miguel Dueñas (Sacatepéquez) y Villa Canales (Guatemala) (Figura 2).

## 7. Marco teórico y estado del arte

Las plantas de café son normalmente árboles pequeños o arbustos, que pertenecen a la familia de las rubiáceas y generalmente tienen una altura de entre 2 y 5 metros, aunque en algunos casos llegan a alcanzar los 12 metros. Una planta de cinco años produce aproximadamente medio kilo de café por cosecha. Es una planta de día corto por lo que requiere una longitud determinada de período de oscuridad (noche) para iniciar la floración (Glimn-Lacy & Kaufman, 2006; Masarirambi, Chingwara, & Shongwe, 2009), por lo cual crece más adecuadamente en áreas tropicales con similar periodo de luz y oscuridad, donde además el clima húmedo y cálido es ideal para el cultivo de café.

La producción de café comercial envuelve principalmente dos especies: *Coffea arabica* L. arabica y *Coffea canephora* Pierre ex. Froehner (café robusto), que representan hasta un 66% y 34%, respectivamente, del mercado de café (Camargo et al., 2009), sin embargo, existen hasta 103 especies de café (Davis, Govaerts, Bridson, & Stoffelen, 2006).



Figura 1. Flor (derecha) y frutos de café (izquierda).

El sistema de raíces de café es extenso y puede extenderse hacia abajo hasta 3 m de profundidad y casi todas las especies de café tienen hojas persistentes (Vieira, 2008), las hojas se quedan en la planta después de su maduración y del marchitamiento de las flores. La planta de café típicamente tiene un solo tronco principal, pero se puede cultivar utilizando un sistema de troncos múltiples (Kimani, Little, & Voss, 2002). En algunos cafetales se protege a las plantas más jóvenes de la luz directa del sol sembrando plantas de crecimiento rápido entre las hileras, como por ejemplo el maíz, mientras que los árboles completamente desarrollados se sombreamos generalmente con otras especies de árboles. Cuando los cafetales se encuentran a altitudes elevadas no es necesaria la sombra.

Las inflorescencias están presentes en clusters, o yemas de serie, en las axilas de las ramas plagiotrópicas (Vieira, 2008). Hay de 2 a 20 flores en cada una de las axilas de síntesis (Free, 1993). Las flores se encuentran sobre un pedicelo corto y tienen un cáliz rudimentario de cinco pétalos, una corola blanca, y anteras relativamente cortas (Free, 1993; McGregor, 1976).

Las frutas del café son drupas (frutos carnosos con un hueso duro) de aproximadamente 12 mm de diámetro, de color verde cuando es joven y rojo oscuro, casi negro, cuando está maduro, que contiene generalmente dos semillas o granos. Todos los frutos de una misma rama no maduran al mismo tiempo, por lo que, para

obtener la mejor calidad, deben irse recogiendo individualmente a medida que maduran (De Castro y Marraccini, 2006; Peterson & McKenny, 1998)

### *Mecanismos de polinización*

#### **Polinización por viento**

Anemofilia, o polinización por el viento, es importante para muchas especies en aproximadamente el 18% de las familias de angiospermas (Ackerman, 2000; Culley, Weller & Sakai, 2002). La importancia de viento para la polinización de café varía según las especies. Con *C. arabica*, Le Pelley (1973) ha señalado, basándose en la estructura de granos de polen (es decir, pesados y pegajosos), el viento no podría llevar el polen muy lejos y normalmente necesita de fertilización cruzada que en su mayoría puede atribuirse a insectos. Un estudio más reciente (Klein et al., 2003a) puso a prueba la importancia de los diferentes mecanismos de polinización para dos especies de café también presentes en Guatemala; *C. arabica* y *C. canephora*. Para *C. arabica*, se ha encontrado que la producción de frutos es del 62,9% cuando se expone a solamente viento y autofecundación. *Coffea canephora* y todas las demás especies de café auto-incompatibles tienen el polen seco y ligero, por lo que se supone que el viento es el principal vector de polinización (Free, 1993; Le Pelley, 1973; McDonald, 1930). Ferwerda (1948) reportó que el polen viaja hasta 100 m, lo que hace concluir que el viento es el principal polinizador de *C. canephora*, y que los insectos juegan un papel "insignificante" en la polinización cruzada. Más aún, el viento y la transferencia de polen por gravedad fueron suficientes para satisfacer los niveles de polinización adecuados en *C. canephora*. Sin embargo, Charrier (1971) por medio de seguimiento de polen con fósforo radiactivo y azufre observó que a una distancia de más de 24 metros y en ausencia de polinizadores que no hubo polen transferido por el viento, sugiriendo que para distancias largas es necesario la presencia de polinizadores. Sin embargo, Ngo, Mojica, y Packer (2011) sugiere que la eficiencia de la polinización por

polen dependerá de las características específicas de las condiciones ambientales en los sitios de estudio.

## **Polinización por abejas**

### *Coffea arabica*

Las abejas han sido reconocidas por su importante papel en la polinización de *C. arabica* (Klein et al., 2003a; Klein, Steffan-Dewenter, & Tschardtke, 2003b; Ricketts, 2004; Roubik, 2002a, 2002b). Con experimentos de exclusión en Brasil, Amaral (1972) encontró que la producción de frutos de café era mayor que en los tratamientos que incluían la visita de abejas y observó que las abejas melíferas eran el principal visitante de la flor del café, mientras que las abejas sin aguijón *Trigona spinipes* y *Partamona testacea*, así como las abejas carpinteras (*Xylocopa* sp.) eran visitantes menores. En Costa Rica, Badilla y Ramírez (1991) investigaron la polinización de *C. arabica* var. *catuai* rojo y encontraron que el visitante más frecuente de la flor del café fue de nuevo la abeja melífera. Más recientemente, Roubik (2002b) informó que la abeja africana (*Apis Mellifera scutellata*) aumentó la producción de *C. arabica*, medida por el rendimiento final de los cultivos, en un 50% en Panamá. Más del 95% de las visitas a las flores provienen de esta abeja. Otros visitantes de flores de café observadas en el mismo estudio fueron *Trigona* spp., *Melipona* spp., *Bombus* spp., y *Centris* spp. Todas ellas abejas sociales, con excepción del género *Centris*. Roubik (2002a) señaló que las abejas solitarias visitaban las flores de café, pero las visitas eran infrecuentes en comparación con las de las abejas sociales. Veddeler, Klein y Tschardtke (2006) estudiaron visitantes de flores de *C. arabica* en Ecuador donde encontraron que 19 morfoespecies de abejas sociales hicieron la mayoría de visitas a flores de café, de las cuales 10 morfoespecies eran abejas solitarias cuyas visitas fueron menores. El visitante más dominante a las flores del café era la abeja africanizada de la miel, seguida por la abeja sin aguijón *Partamona peckolti*. Vergara y Badano (2008) estudiaron polinizadores de granjas de *C. arabica* de intensidad de manejo variable en



México donde observaron un total de 15 especies de insectos que visitaron flores de café, 7 de las cuales fueron abejas, sin embargo *A. mellifera* fue el visitante floral más frecuente (~84%). El segundo visitante de café más frecuente fue la abeja sin aguijón *Scaptotrigona mexicana* (7%) del total de visitas observadas a las flores. Las abejas sociales han sido reconocidas como los principales polinizadores de café (Ricketts, 2004; Vergara y Badano, 2008). Para *C. arabica*, existe una evidencia abrumadora de que las abejas melíferas son un polinizador importante, si no el polinizador más importante del café. Las plantas de café son también una fuente de néctar para las abejas. En una revisión, Ramalho, Kleinert-Giovannini, y Imperatriz-Fonseca (1990) informaron que *C. arabica* fue identificada como una importante planta de abejas en el neotrópico, proporcionando néctar específicamente para abejas de la tribu altamente eusocial, Meliponini y la abeja africanizada.

### ***Diversidad de abejas***

Se ha estimado que existen aproximadamente 20,000 especies válidas de abejas localizadas en los museos del mundo (Ascher & Pickering, 2017). Sin embargo, se sugiere que un número de especies más realista es el doble, ya que los trabajos sistemáticos frecuentemente revelan una multiplicidad de nombres de taxas simples, y el trabajo de campo continúa añadiendo nuevas especies y géneros (Roubik, 1995).

En Guatemala, están presentes 5 familias de abejas donde las familias con mayor número de especies son Apidae y Andrenidae, representando el 62% del total (Ayala, 1999). La distribución de la apifauna en éste país, apoya la idea de que las abejas son más numerosas y diversas en las zonas templadas xéricas (Michener, 2007).

Se ha observado que la diversidad de abejas aumenta conforme aumenta el tamaño en los parches de vegetación natural muestreado, sin embargo, ésta no cambia con el nivel de aislamiento de los parches de vegetación natural (Ricketts, 2004).



### ***Importancia de la Diversidad en los servicios del ecosistema***

La biodiversidad representa una forma de “seguro biológico” contra la pérdida o el bajo rendimiento de algunas especies (Sekercioglu, 2010). Un mayor número de especies debe aumentar la fiabilidad de los ecosistemas, donde fiabilidad se refiere a la probabilidad de que un sistema proporcionará un nivel constante de rendimiento con respecto a una determinada unidad de tiempo. Muchos estudios han confirmado que la mayor biodiversidad de comunidades vegetales mejora el funcionamiento de los ecosistemas (Naeem & Li, 1997), pues las diferentes especies de plantas capturan diferentes recursos, lo que lleva a una mayor eficiencia y mayor productividad (Tilman, Wedin, & Knops, 1996).

La disminución en la diversidad de especies tiene consecuencias funcionales ya que el número y el tipo de especies presentes determinan las características de organismos que pueden estar influyendo en los procesos del ecosistema. Además de sus efectos sobre el funcionamiento actual de los ecosistemas, la diversidad de especies influye en la resiliencia (capacidad de los ecosistemas de recuperarse o retornar a su estado anterior a algún cambio) y la resistencia de los ecosistemas al cambio ambiental (Chapin et al., 2000).

El papel de la biodiversidad en la prestación de servicios de los ecosistemas se debate activamente en ecología. La diversidad de grupos funcionales (grupos de especies ecológicamente equivalentes), es tan importante como la diversidad de especies (Sekercioglu, 2010), y en la mayoría de los servicios de una especie dominante pocos parecen jugar el papel principal. Sin embargo, Naeem y Li (1997) sugieren por sus resultados, que la redundancia (en el sentido de tener múltiples especies por grupos funcionales) es un bien valioso, y que la provisión de redundancia adecuada puede ser una razón para la conservación de la biodiversidad. Los grupos funcionales son un conjunto de especies que poseen atributos (morfológicos, fisiológicos, conductuales o



de historia de vida) que son semejantes y que desempeñan papeles ecológicos equivalentes sin importar su linaje evolutivo (Chapin III, Matson, & Mooney, 2002).

La pérdida de biodiversidad puede poner en peligro procesos ecológicos esenciales, entre ellos la descomposición, el parasitismo, depredación, o polinización, sin embargo, los estudios en biodiversidad y servicios del ecosistema se han centrado en características generales como la productividad y resiliencia de los ecosistemas, y se han ignorado las interacciones bióticas como importantes motores del funcionamiento del ecosistema (Steffan-Dewenter, Münzenberg, Bürger, Thies, & Tschardtke, 2002).

La polinización vincula la productividad de la planta y el funcionamiento de los ecosistemas, y mantienen el flujo de genes en las poblaciones de plantas. Los insectos, especialmente abejas, son los polinizadores más importantes de las plantas silvestres y cultivadas en todo el mundo (Sekercioglu, 2010). Con la interrupción de la polinización se puede esperar la reducción de la reproducción de las plantas, y en casos extremos, podría llevar a la extinción de plantas y animales, llevando a cambios en el paisaje y en el funcionamiento del ecosistema (Kevan & Viana, 2003).

Los polinizadores no afectan los procesos del ecosistema directamente, pero tienen el potencial de cambiar la estructura y diversidad de comunidades de plantas afectando así indirectamente dichos procesos. La polinización por animales silvestres es considerada un servicio clave del ecosistema, sin embargo, la polinización de cultivos es el ejemplo más citado de un servicio en peligro del ecosistema (Klein et al., 2007). Las poblaciones de polinizadores silvestres puede mejorar la producción de algunos cultivos, pero estas poblaciones son con frecuencia demasiado escasas para polinizar adecuadamente los cultivos en ambientes de agricultura intensiva (Klein et al; 2007).

Se ha demostrado que la diversidad de polinizadores, más que la abundancia, están influenciando la fructificación de ciertos cultivos, de tal manera que el papel de la



riqueza específica de polinizadores, es importante para el éxito de la polinización (Klein et al., 2003a). Y que, dado un mismo número de flores visitadas, la riqueza de especies de abejas solitarias contribuye más a la formación de frutos que las abejas sociales abundantes (Klein et al., 2003a).

Se ha demostrado en algunos estudios que las abejas solitarias son polinizadores más eficientes comparándolas con las sociales, sin embargo, todas las especies de abejas son importantes polinizadores, las sociales por su alta frecuencia y las solitarias por su alta eficiencia en la polinización (Klein et al., 2003a).

### ***Importancia del hábitat y uso de suelo sobre la conservación de la diversidad de abejas***

El hábitat natural ha sido destruido en gran medida en los últimos años (Chapin III et al., 2002). Los bosques se han visto particularmente afectados, pues la superficie mundial de éstos se ha reducido casi a la mitad en los últimos tres siglos. Los bosques tropicales están desapareciendo a velocidades de hasta 130000 km<sup>2</sup> al año (Laurance, 2010).

La destrucción del hábitat se produce cuando un hábitat natural se altera de manera tan dramática que ya no soporta las especies originalmente sostenidas. Las poblaciones de plantas y animales son destruidas o desplazadas, lo que lleva a una pérdida de la biodiversidad. La pérdida de hábitat, especialmente en los trópicos, es ahora sustancialmente impulsado por la globalización y la promoción de la agricultura intensiva y otras actividades industriales (Laurance, 2010).

La pérdida y fragmentación del hábitat han sido reconocidos como dos de las principales amenazas a la viabilidad de las especies (Foley, DeFries, Asner, Barford, Bonan, Carpenter & Synder, 2005; Lambin et al., 2001; Turner, Clark, Kates, Richards, Mathews, & Meyer, 1990). Ambos procesos dan lugar a paisajes heterogéneos dentro de una matriz de hábitat menos apropiado.



El impacto de la pérdida del hábitat es mucho más fuerte para abejas nativas que para otros grupos de insectos. De hecho, existe evidencia del decline de la diversidad de los polinizadores como resultado de la fragmentación del hábitat y la intensificación del uso del suelo inducidas por el humano (Biesmeijer et al., 2006; Steffan-Dewenter et al., 2002). A escala de paisaje, esto se traduce a ensamblajes de polinizadores dominados por especies de abejas sociales generalistas (Steffan-Dewenter et al., 2002). También se sabe que el cambio en la diversidad y abundancia de las abejas, asociado a la fragmentación del hábitat y al cambio del uso del suelo, afecta fuertemente a los servicios ambientales de polinización (Steffan-Dewenter et al., 2002).

Las abejas dependen de una gran variedad de recursos claves tales como sitios para anidar, fuentes de alimento, materiales de construcción del nido, y frecuentemente éstos se distribuyen en diferentes tipos de hábitat, por lo tanto, el enfoque de la conservación y las actividades de manejo para las abejas como polinizadores clave, debería tomar escalas espaciales más grandes que un simple fragmento de hábitat (Steffan-Dewenter et al., 2005). Así, se necesita un enfoque sobre los efectos de la composición del paisaje y la importancia relativa de los diferentes tipos de hábitats.

Hay dos tipos de relaciones que se describen en varios estudios en el trópico, en donde se trata de describir el efecto que tienen los cambios en el uso de suelo, es decir pérdida de hábitat, sobre la abundancia y diversidad de los polinizadores. Algunos toman muestras en remanentes de área natural y se relaciona la riqueza y abundancia de abejas encontradas, con el tamaño de los remanentes de área natural; y en otros se toman muestras en el área rodeando a los remanentes de vegetación natural y se asocia la diversidad y abundancia de especies encontrada, a la distancia que hay entre los sitios de muestreo y los remanentes de vegetación (Brosi, Daily, & Ehrlich, 2007; Kremen, Williams, & Thorp, 2002; Meneses-Calvillo, Meléndez-Ramírez, Parra-Tabla, & Navarro, 2010).



Entre los resultados de las relaciones mencionadas anteriormente, se ha visto que la diversidad y abundancia de abejas, está relacionada positivamente al tamaño del parche de vegetación natural en donde se encuentran (Meneses-Calvillo et al; 2010). No se ha detectado una relación fuerte entre la abundancia y diversidad de especies de abejas en general con la distancia del sitio de muestreo al parche de vegetación natural; sin embargo, al analizar las abundancias de las Tribus de abejas, sí se detectan esas relaciones (Brosi, Daily, Shih, Oviedo, & Durán, 2008; Brosi et al., 2007). A pesar de estos resultados, en otros estudios de zonas templadas sí se ha logrado relacionar la diversidad y abundancia de especies de abejas con la distancia a remanentes naturales (Steffan-Dewenter et al., 2002).

### ***Especie de estudio***

El café de las tierras altas (*Coffea arabica*) es una especie muy extendida. *Coffea arabica* se describe como una especie auto-fértil, tetraploide (Crane & Walker, 1983; Free, 1993). Sin embargo, Raw y Free (1993) demostraron que las abejas en jaulas (*Apis mellifera* L.) pueden casi duplicar el rendimiento de frutos maduros en comparación con la auto-polinización espontánea, y la retención de fruta también parece ser mejorada por cruzamiento (Free, 1993; Roubik, 2002). El café es frecuentemente visitado por las abejas durante la floración (Klein et al., 2003a; Willmer & Stone, 1989).

### ***Morfología de la flor***

Las flores tienen un cáliz de cinco segmentos y cinco pétalos blancos, la mitad inferior de los cuales se fusionan en un tubo cilíndrico y alargado de la corola. Hay cinco estambres con anteras largas y filamentos cortos insertados en la corola, un estilo largo y delgado con un estigma de dos ramificaciones y un ovario inferior de dos cámaras, cada una con un óvulo. El estigma es receptivo cuando una flor se abre al amanecer y las anteras se abren poco después. El disco que rodea la base del estilo secreta néctar (Free, 1993).

## 8. Objetivo general

Determinar el efecto de la vegetación, el paisaje y el manejo sobre la comunidad de abejas silvestres y sobre el servicio ecosistémico de polinización en plantaciones de café en Guatemala.

## 9. Objetivos específicos

1. Determinar si existe algún efecto del paisaje y de los atributos de la vegetación alrededor de las plantaciones de café que favorezca a la comunidad de abejas silvestres y el servicio ecosistémico de polinización.
2. Determinar si existe diferencia en la composición de la comunidad de abejas y del servicio ecosistémico de polinización entre plantaciones de café orgánico y plantaciones de café comercial.

## 10. Hipótesis

La disponibilidad de hábitat para anidamiento y de alimentos (vegetación natural) que se puede encontrar en áreas de café orgánico beneficia de manera positiva la diversidad de abejas y al mismo tiempo permite una mayor producción de fruto debido a un incremento en el servicio de polinización provisto por abejas.

## 11. Materiales y métodos

### *11.1. Enfoque y tipo de investigación*

- 11.1.1. Indicar el enfoque de la investigación: El enfoque de la investigación es cuantitativo
- 11.1.2 Indicar el alcance de la investigación: Correlacional, aplicada y explicativa

### *11.2. Técnicas e instrumentos*

- 11.2.1. Método:** De manera general, el método que se utilizó son entrevistas, colecta de datos observacionales y colecta de datos experimentales.



**11.2.2. Técnica:** 1) Encuestas para conocer el tipo de manejo de cada una de las plantaciones de café orgánico y convencional; 2) observación y colecta de las abejas que visitan el café en floración para conocer aspectos de la comunidad de estos polinizadores; 3) Observación y colecta de plantas en flor de la vegetación de los alrededores del café para conocer los atributos de la vegetación; 4) Observación y colecta de datos de los experimentos de polinización manual, abierta y cerrada para conocer el servicio de polinización al café que brindan las abejas.

**11.2.3. Instrumento:** guías para entrevistas y boletas de campo

### **11.3. Recolección de datos**

**Diseño experimental:** En cada uno de los siete sitios de muestreo se escogieron dos plantaciones de café con dos tipos de manejo diferentes: El primero es el cultivo de café orgánico que es considerado ambientalmente amigable y que beneficia la diversidad. En estas plantaciones no se usan pesticidas y el café crece a la sombra de vegetación natural, y con áreas de bosque cercanas.

El segundo es el cultivo convencional, donde se usan pesticidas, y el café crece muchas veces sin sombra alguna, con nula o poca presencia de masas boscosas en las cercanías. En cada plantación se realizaron conteos de las especies de abejas para determinar la composición de las comunidades y se realizaron experimentos de polinización. Hasta ahora existen estudios de la diversidad de abejas en cultivos de café, pero ninguno ha sido realizado comparando ambos tipos de manejo del cultivo de café y el efecto en el servicio de polinización.

Se analizó la comunidad de abejas, la polinización y atributos de la vegetación en los dos tipos de tratamientos con respecto al manejo del cultivo (orgánico y convencional).

### Mapa de los sitios muestreados

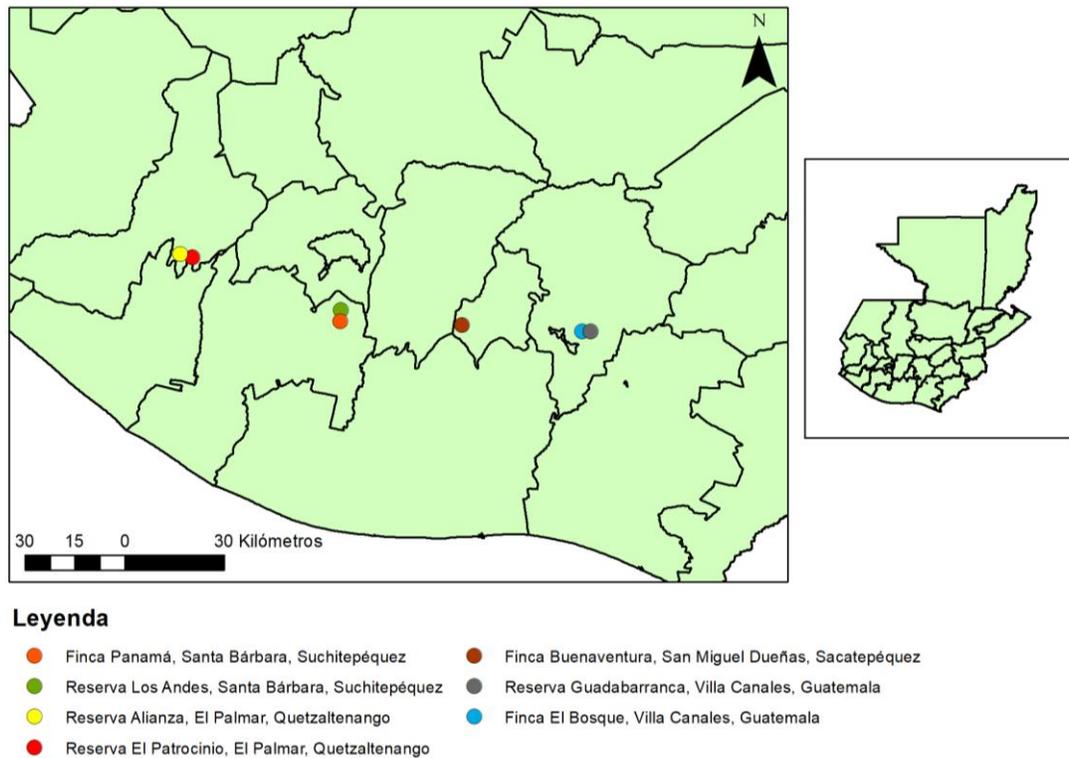


Figura 2. Mapa mostrando los pares de sitios muestreados.

#### 11.3.2 Muestreo de abejas

Con el objetivo de conocer la riqueza de abejas visitantes florales del café, su abundancia y comportamiento, durante el pico de floración del café, en 30 plantas de café, se observó un grupo de flores durante 5 min cada grupo en cada planta, para obtener un total de 30 observaciones por plantación de café. Se anotó el número de visitas por especie de abeja (u otro insecto visitante) y se anotó el comportamiento en una boleta diseñada para tal fin. Esto se realizó en cada plantación de café con distinto tipo de manejo, y en cada uno de los siete sitios de muestreo. Además, se realizó la colecta de visitantes florales del café durante 60 min. Esto con ayuda de una red entomológica. Se realizó un recorrido por toda la plantación del café para la colecta de las abejas

silvestres. Las abejas fueron sacrificadas en un matador que contiene cianuro, para su posterior montaje en alfileres entomológicos e identificación taxonómica. En la vegetación natural, en cada una de las plantaciones, también se realizó una colecta de abejas silvestres durante 60 min. Las abejas colectadas se etiquetaron, identificaron e ingresarán a la Colección de Abejas Nativas de Guatemala -CANG-, ubicada en el Centro de Estudios Conservacionistas, USAC.

### 11.3.3 Muestreo de la vegetación asociada

Con el objeto de analizar la relación entre los atributos de vegetación para cada tipo de cultivo con la diversidad de abejas y servicio de polinización, se realizaron mediciones de las variables de vegetación: riqueza de especies (árboles, arbustos y hierbas), abundancia (frecuencia), y estructura de la vegetación, en términos del diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura. La colecta de muestras botánicas para la determinación de las especies y las mediciones se llevó a cabo a lo largo de transectos de muestreo de vegetación de 50 m x 5 m. Dos transectos por cada uno de los sitios muestreados, en total 14 transectos. Las muestras colectadas serán depositadas en el Herbario USCG y BIGU de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Los datos generados se utilizaron para caracterizar cada uno de los sitios muestreados y para hacer las comparaciones en términos de sitios, con la diversidad de abejas y el servicio de polinización.

Con ayuda de sistemas de información geográfica -SIG- se estableció un radio de 1000 metros del centro de cada una de las plantaciones de café incluidas en el estudio. Luego se calculó la proporción de cada uso de suelo (bosque, vegetación secundaria, cultivos, etc.) alrededor de la plantación de café.

#### 11.3.4 Experimentos para cuantificar el servicio ecosistémico de polinización

Se realizó un experimento de polinización en cada una de las plantaciones de café, con distinto tipo de manejo (orgánico y convencional), en cada uno de los siete sitios de muestreo, con el objetivo de cuantificar el servicio eco-sistémico de la polinización del café. En cada plantación de café se escogieron 30 plantas, y para cada planta se ubicaron tres flores seleccionadas al azar, que fueron expuestas a cada uno de los siguientes tratamientos: polinización cruzada (tratamiento M: flores de polinización cruzada a mano y tapadas con malla de tul de 1 mm), polinización abierta (tratamiento A: Flores dejadas abiertas para recibir la visita de insectos), y experimentos de exclusión con cero polinización por insectos (tratamiento C: flores permanentemente tapadas con una malla de tul del 1 mm de malla, permitiendo sólo el viento y la polinización de insectos muy pequeños).

Al finalizar el tiempo de floración y crecimiento de los frutos, se recogieron los frutos de café, se pesaron y se contaron las semillas por planta y tratamiento. Para el cálculo del set de semillas y el peso del fruto, todas las flores fallidas en cada tratamiento fueron incluidas en análisis separados.

#### *11.4. Procesamiento de datos y plan de análisis*

**11.4.1. Investigación cuantitativa:** Se realizaron análisis de la diversidad de las comunidades de abejas. Análisis de relaciones lineales de la diversidad de abejas, los atributos de la vegetación, las variables del paisaje y la provisión de polinización.

**11.4.2. Métodos estadísticos:** Todos los análisis estadísticos se realizaron para responder las preguntas de investigación en cuanto a la comunidad de abejas y el efecto que el paisaje y los atributos de vegetación tienen sobre

la misma. Así como los efectos de la comunidad de abejas en la polinización.

#### **11.4.3. Análisis estadístico de la comunidad de la abeja y variables ambientales**

Se estimó la diversidad Alfa y diversidad Beta de las abejas que visitan en café en cada una de las plantaciones de café seleccionadas. Según Meléndez-Ramírez y colaboradores (2002), se estimó la Dominancia Relativa (DR) para cada una de las especies sumando la abundancia relativa (abundancia por especie/abundancia total x 100) más la frecuencia relativa (frecuencia por especie/frecuencia total x 100) dividido dentro de dos, para obtener los valores de DR entre 0 y 100%. Especies con  $DR \leq 5\%$  fueron considerados como raras y no dominantes, mientras que las especies  $DR > 5\%$  fueron consideradas como abundantes o dominantes. Para evaluar la complementariedad del muestreo realizado, se calculó para cada finca evaluada el estimador no paramétrico Chao1; se usó el valor promedio del estimador para calcular el porcentaje de especies del total que fueron colectadas durante el muestreo. En cada finca de café se estimaron los siguientes estimadores no paramétricos para las medidas de diversidad: Índice de Shannon-Wiener (H), Índice de Simpson (Magurran 1988) con el paquete Vegan del software R 3.4.4 (R Development Core Team, 2013)

La auto correlación espacial de las comunidades de abejas a través de los sitios se analizó usando Moran I test, tanto entre la abundancia como de la riqueza de especies, y su relación con las distancias geográficas entre los sitios de muestreo (Figura 2). Se realizó el Análisis de Correspondencia Canónica (CCA), que se encuentra dentro del paquete 'Vegan' v. 2.2-1 (Oksanen, Blanchet, Kindt, Legendre, Minchin, O'Hara, & Helene, 2011) en R v. 3.1.0 (R Development Core Team 2014), para investigar la relación entre la composición de la comunidad de abejas y el paisaje. Se determinó la diversidad

de abejas con la corrección de Chao-1 con PAST 3. Se usaron las correlaciones de rangos de Spearman para determinar las relaciones entre las variables del paisaje y la diversidad (riqueza, corregida con CHAO-1 y abundancia) de los grupos de abejas: (abejas sociales, abejas solitarias, abejas que anidan en cavidades y abejas que anidan en el suelo, etc.). Además, se utilizó un modelo lineal general (GLM, R Development Core Team 2014) para probar el efecto de la composición del paisaje en las estimaciones de riqueza (Chao-1) y de la abundancia de abejas.

#### **11.4.4. Análisis estadístico del servicio de polinización**

Para el cálculo del set de frutos y el peso del fruto, todas las flores fallidas en cada tratamiento fueron incluidas en análisis separados. Para determinar las diferencias entre los tratamientos de polinización se hicieron pruebas por pares de tratamientos (M vs A, M vs C y A vs C). Cuando los datos se ajustaban a una distribución estadística normal se usó T-test. Si los datos no se ajustaban a una distribución estadística normal se utilizó un análisis no paramétrico de Mann-Whitney-Wilcoxon para análisis por pares y Kruskal-Wallis para análisis de tres variables. Todas las pruebas se usaron con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

Se calculó un índice del servicio de polinización (PSP) calculado según Landaverde-González et al. (2016). Para determinar los efectos del paisaje en las comunidades de abejas (abundancia y riqueza de especies) y la provisión de polinización al café se usaron modelos lineales (LMs).

#### **11.4.5. Análisis estadístico del paisaje**

Se realizó un análisis de correspondencia canónica -CCA- (canonical correspondence análisis) para determinar el efecto de las variables del paisaje sobre la comunidad de abejas. Para confirmar esta información, se realizó

regresiones lineales GLM para relacionar las variables de la comunidad de abejas (abundancia, riqueza) con las variables del paisaje.

#### **11.4.6. Análisis de los atributos de la vegetación**

Con base en la matriz de datos de datos del paisaje en ambos cultivos (orgánicos y convencional) se construyeron curvas de acumulación de especies para validar el esfuerzo de muestreo y estimar el número total de especies de plantas con el software EstimateS, versión 9.1.0 (Colwell, 2013). Se clasificaron mediante el análisis de conglomerados (cluster analysis) con el índice de similitud de Bray-Curtis (índice de abundancia) con el software estadístico PAST3, versión 2.17c (Hammer, Harper, & Ryan, 2001). Para determinar si había diferencias significativas entre los atributos de la vegetación en cada tipo de cultivo se elaboraron Box-Plot.

También se llevó a cabo un análisis de correspondencia canónica restringida - CCA- (Canonical Correspondence Analysis), que es un análisis de gradiente directo, para hacer una correspondencia entre los datos de abundancia por parcela de muestra con los atributos medidos en cada sitio (matriz de variables explicativas), que pueden mostrar los gradientes ambientales que afectan a la distribución de especies. La relación entre los atributos estructurales significativos y los servicios ecosistémicos se evaluaron teniendo en cuenta el ingreso promedio del producto de café y la diversidad de abejas.

### **12. Vinculación, difusión y divulgación**

Se trabajó estrechamente con otras instituciones, principalmente productoras de café como ANACAFÉ y la Asociación de Reservas Naturales Privadas de Guatemala (ARNPG). Se realizó una vinculación con el IARNA, Universidad Rafael Landívar, por medio de una tesista, para evaluar el servicio ecosistémico de polinización con los datos originados en el presente proyecto. Así mismo, varios estudiantes de prácticas de Ejercicio Profesional Supervisado, fueron involucrados en este trabajo de investigación.

Se ha preparado un manuscrito sobre la diversidad de abejas del café que se ha considerado publicar en la revista científica de DIGI o en una revista internacional indexadas y con impacto.

Se presentaron los resultados del proyecto ante los propietarios de las fincas de café y ante la Junta Directiva de las Reservas Naturales Privadas.

### **13. Resultados.**

#### **13.1. Biodiversidad de abejas en café y en vegetación asociada**

##### **13.1.1. Comunidad de abejas en café y en vegetación asociada.**

Se colectaron un total de 188 especímenes de visitantes florales en los cultivos de café durante 222 observaciones. Se registró un total de 23 especies de visitantes florales, de los cuales el 47% se colectó en la vegetación asociada al café (11 especies), todas ellas se encontraron también visitando el café. De total de especies visitantes florales del café el 78% son abejas (18 especies). Así mismo el 43.5% son meliponinos (10 especies; tabla 1). Del total de especies solo 10 son dominantes, es decir con una DR > 5%: *Scaptotrigona mexicana*, *Apis mellifera*, *Tetragonisca angustula*, *Trigona fulviventris*, *Partamona bilineata*, *Plebeia moureana*, *Plebia parkeri*, *Trigona nigerrima*, *Trigonisca maya* y *Halictidae sp.*, de las cuales ocho son meliponinos (Anexo 1). La riqueza obtenida durante el muestreo con relación a la riqueza esperada es muy moderada (Chao1 70%). En cuanto a diversidad de especies, la finca el Bosque, en Villa Canales presentó la mayor diversidad (Shannon= 1.82) y la finca Nueva alianza, en Retalhuleu, presentó la menor diversidad de especies (Shannon=1.06). La diversidad beta promedio para todos los sitios fue baja, de 0.5.

##### **13.1.2. Comparación de diversidad y composición de abejas colectadas en café y vegetación asociada**

Se pudo encontrar al comparar tres variables de la diversidad de abejas (abundancia, riqueza y composición –LCBD-) que en general la diversidad de abejas (abundancia y riqueza Fig. 3 y 4 respectivamente, Tabla 1) colectadas sobre el café fue mayor

comparada con la diversidad de abejas colectadas en la vegetación asociada al café. Sin embargo, al observar el cambio de la composición (LCBD; figura 5) se observó que esta fue relativamente similar. También se realizaron análisis fenéticos para determinar qué poblaciones eran más similares, en cuanto a sus características de diversidad, esto se realizó con índices de disimilitud (Jaccard). Para la asociación de las poblaciones de abejas colectadas sobre café se pudo observar que existe una relación de la diversidad de abejas con el tipo de manejo de las fincas de café, siendo B los sitios de manejo convencional con químicos y siendo A los sitios de manejo orgánico (Figura 6). Sin embargo, al observarse la diversidad de abejas colectadas sobre flores en la vegetación asociada se observa que las asociaciones tienden estar relacionadas con el tipo de ecosistema al cual pertenecían las poblaciones (Figura 7). En cuanto al cambio de composición se pudo observar que los sitios que se observaron más diferenciados (es decir con mayor cambio de composición) fueron los sitios con manejo convencional (sitios B), tanto para las abejas colectadas sobre flores de café (Figura 8) como las abejas colectadas sobre flores de la vegetación asociada (Figura 9).

Tabla 1. *Variables de la diversidad de abejas (abundancia, riqueza y composición – LCBD-) para cada población de las abejas colectadas en café y para las abejas colectadas en flores en la vegetación asociada.*

	<b>Localidad</b>	<b>Abundancia de abejas en café</b>	<b>Abundancia de abejas de vegetación asociada</b>	<b>Riqueza de abejas en café</b>	<b>Riqueza de abejas de vegetación asociada</b>	<b>LCBD abejas en café</b>	<b>LCBD abejas de vegetación asociada</b>
<b>1<sup>a</sup></b>	<b>Nueva Alianza</b>	66	53	7	24.67	0.15	0.14
<b>1b</b>	<b>El Patrocinio</b>	34	31	23	11.14	0.21	0.13
<b>2<sup>a</sup></b>	<b>Los Andes</b>	113	34	13	8	0.07	0.08
<b>2b</b>	<b>Panamá</b>	114	8	15	5.25	0.11	0.17
<b>3<sup>a</sup></b>	<b>Guardabarranca</b>	180	37	26	6.333	0.10	0.16
<b>3b</b>	<b>El bosque</b>	38	8	10.5	5.25	0.19	0.20
<b>4b</b>	<b>la Ventura</b>	62	20	9	5	0.17	0.10

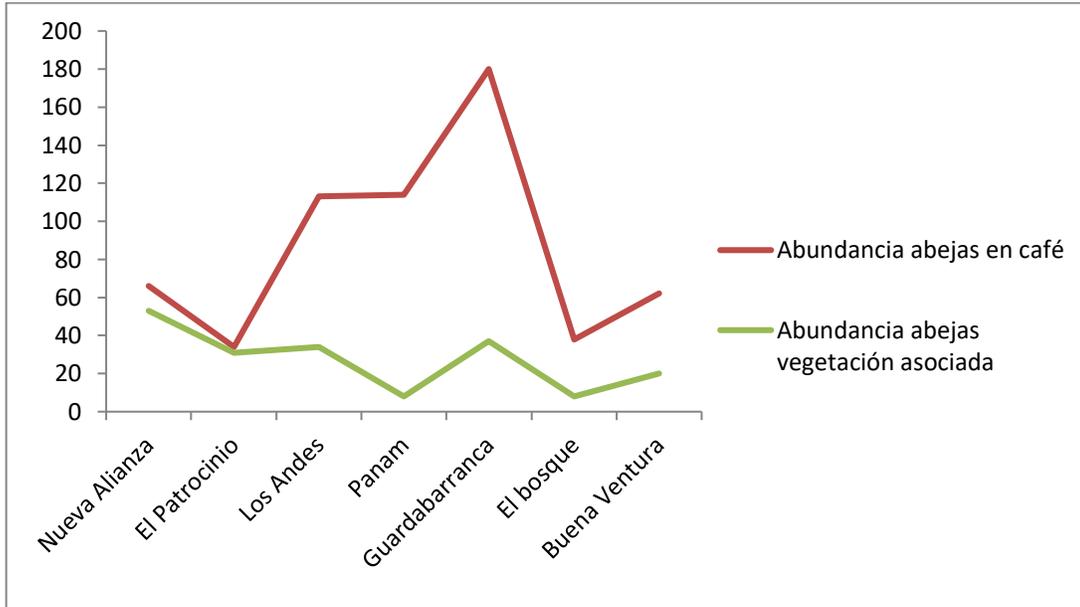


Figura 3. Gráfico de línea mostrando la relación entre abundancia de abejas colectadas en café (línea roja) y abundancia de abejas colectadas en vegetación asociada (línea verde).

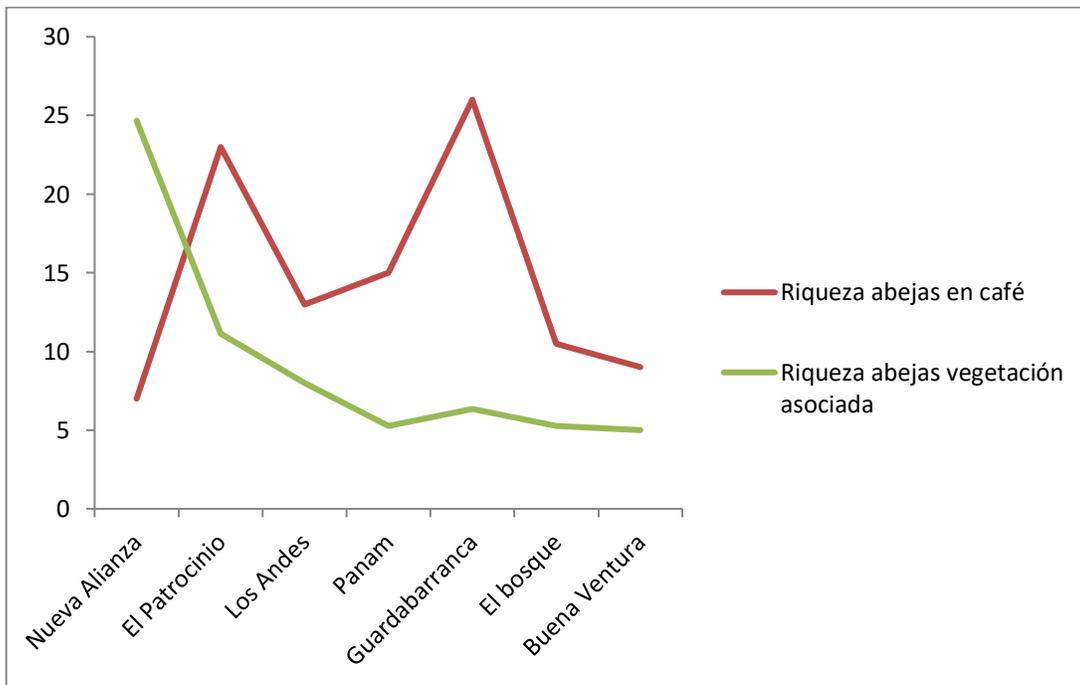


Figura 4. Gráfico de línea mostrando la relación entre riqueza de abejas colectadas en café (línea roja) y la riqueza de abejas colectadas en vegetación asociada (línea verde).

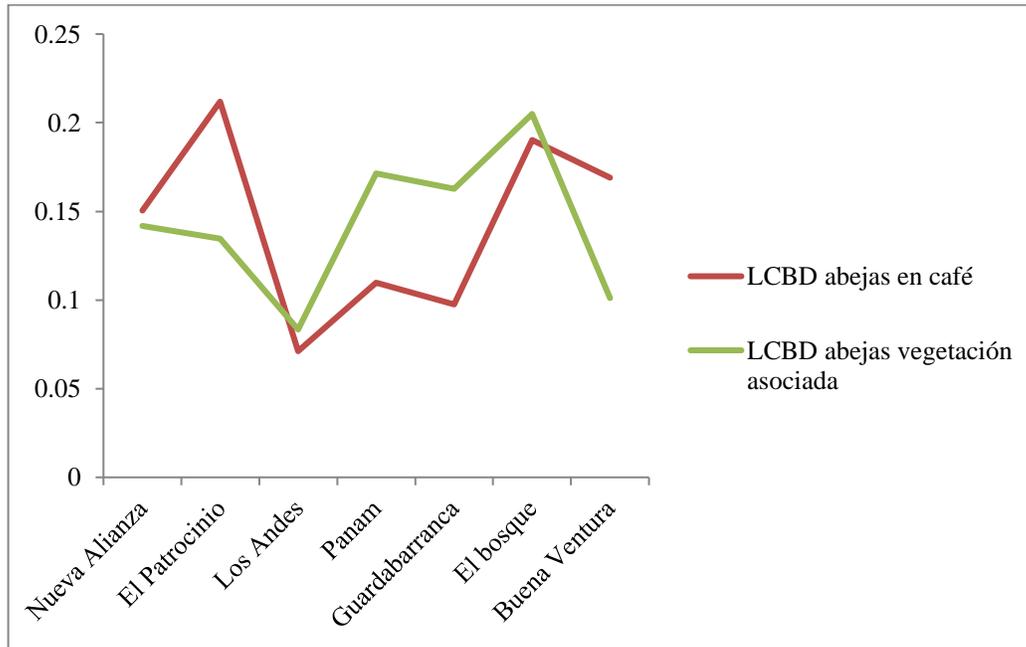
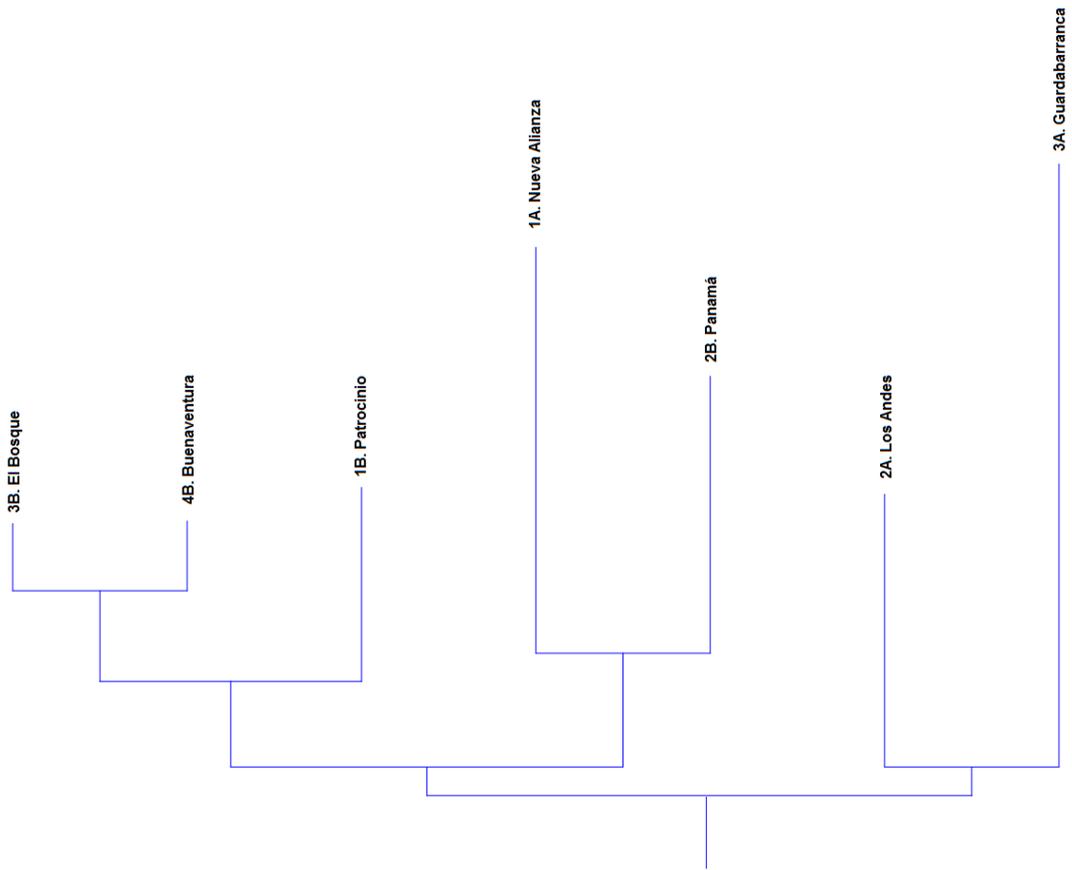
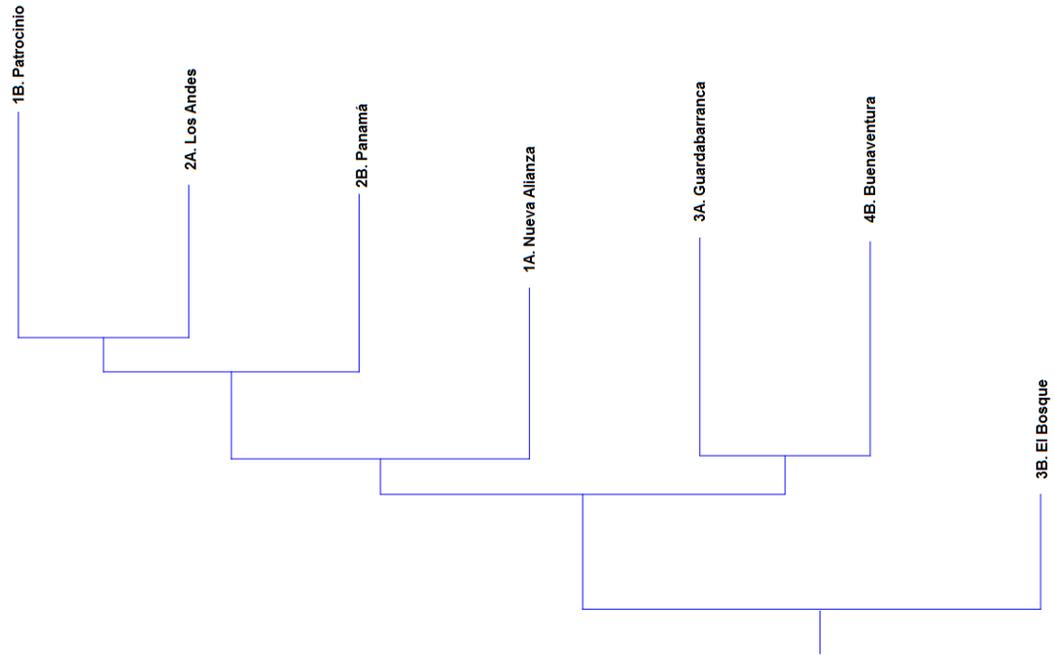


Figura 5. Gráfico de línea mostrando la relación entre la composición (LCBD) de abejas colectadas en café (línea roja) y la composición (LCBD) de abejas colectadas en vegetación asociada (línea verde).



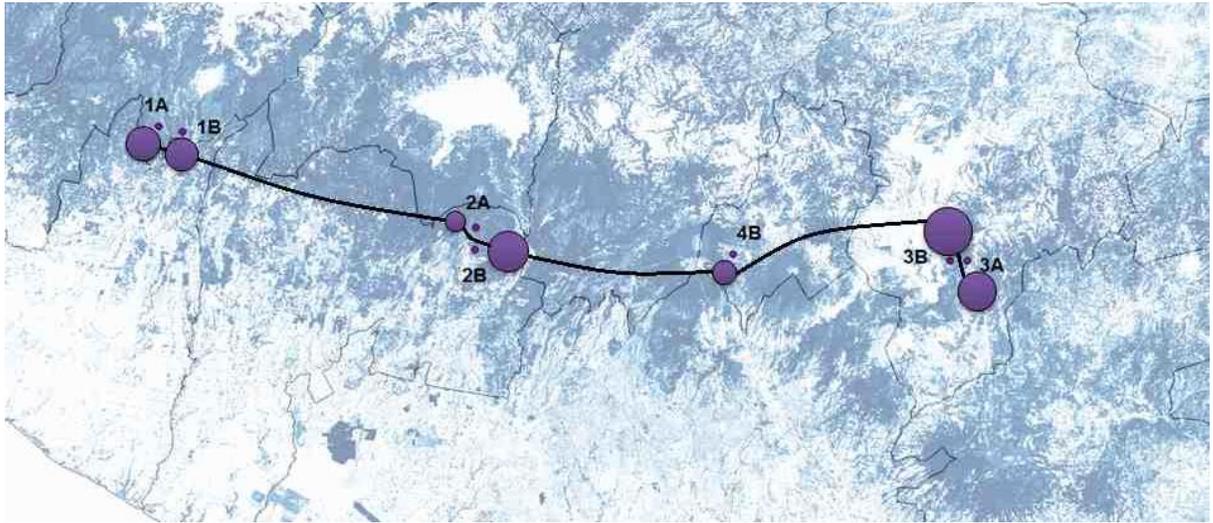
*Figura 6.* Dendrograma relacionando las diferentes poblaciones y los valores de su diversidad de abejas colectadas sobre cultivos de café con índice de disimilitud (Jaccard).



*Figura 7.* Dendrograma relacionando las diferentes poblaciones y sus valores de diversidad de abejas colectadas sobre flores de vegetación asociada con índice de disimilitud (Jaccard).



*Figura 8.* Mapa donde se observa la magnitud del cambio de composición de especies (mayor tamaño de círculos, mayor cambio de composición) entre las diferentes poblaciones de abejas colectadas sobre flores de café.



*Figura 9.* Mapa donde se observa la magnitud del cambio de composición de especies (mayor tamaño de círculos, mayor cambio de composición) entre las diferentes poblaciones de abejas colectadas sobre flores de vegetación asociada.

### 13.2. Biodiversidad de vegetación en las proximidades del café.

También se tuvo el interés de estudiar la diversidad de plantas visitadas por abejas en la vegetación asociada a cada finca de café. Se pudo observar que, aunque el sitio 1a, presentaba mayor diversidad, la misma no fue diferente para las demás, independiente de tipo de manejo observado para el café (Tabla 2). Esto se refuerza al observar el cambio de composición de plantas visitadas (LCBD; Figura 10) donde se puede observar que el tamaño de cambio de composición fue similar entre los diferentes tipos de manejo y sitios de muestreo.



Tabla 2. Variables de la diversidad de plantas (abundancia, riqueza y composición –LCBD-) para cada sitio asociado a una finca de café.

Localidad	Abundancia Plantas	Riqueza de plantas	LCBD plantas
1a Nueva Alianza	99	59	0.12
1b El Patrocinio	45	10	0.14
2a Los Andes	84	13	0.13
2b Panam	134	16	0.14
3a Guardabarranca	74	14	0.15
3b El bosque	21	11	0.16
4a Buena Ventura	74	13	0.16

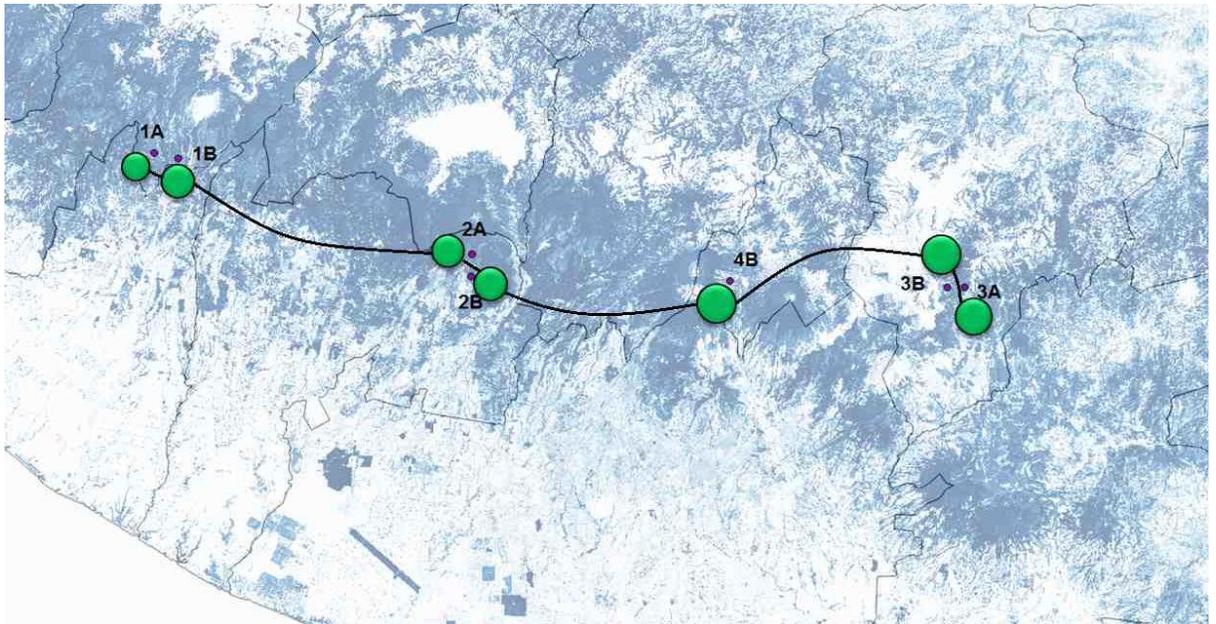


Figura 10. Mapa donde se observa la magnitud del cambio de composición de especies (mayor tamaño de círculos, mayor cambio de composición) entre las diferentes poblaciones de plantas visitadas por abejas

### **13.2. Efecto de variables del paisaje y manejo en la diversidad de abejas en el café.**

Con el fin de determinar si existía efecto del paisaje sobre la diversidad y composición de abejas se realizaron análisis de ordenación (Cannonical correspondence analysis – CCA-) para analizar el efecto de los mismos sobre composición de abejas colectadas tanto en café como en flores en vegetación asociada. Las variables del paisaje analizadas fueron la altitud, porcentaje de agricultura, áreas urbanas, vegetación arbustiva baja y bosque, también se incluyeron variables de la diversidad de vegetación asociada a café que fueron riqueza y abundancia de plantas. Se pudo observar que 85.55 % de la variación puede ser explicada por el modelo. De las variables del paisaje analizadas se encontró que para las abejas colectadas en café las variables que fueron significativas fueron la abundancia de plantas (F-test = 1.94, P-value = 0.015), el porcentaje de vegetación arbustiva baja (F-test= 1.45, P-value = 0.045) y el porcentaje de áreas urbanas (F-test= 1.54, P-value = 0.049; Figura 11). Mientras que para la composición de abejas colectadas en vegetación asociada únicamente la abundancia de plantas mostro un efecto significativo sobre la composición de abejas en el café (F-test = 1.57, P-value = 0.049).

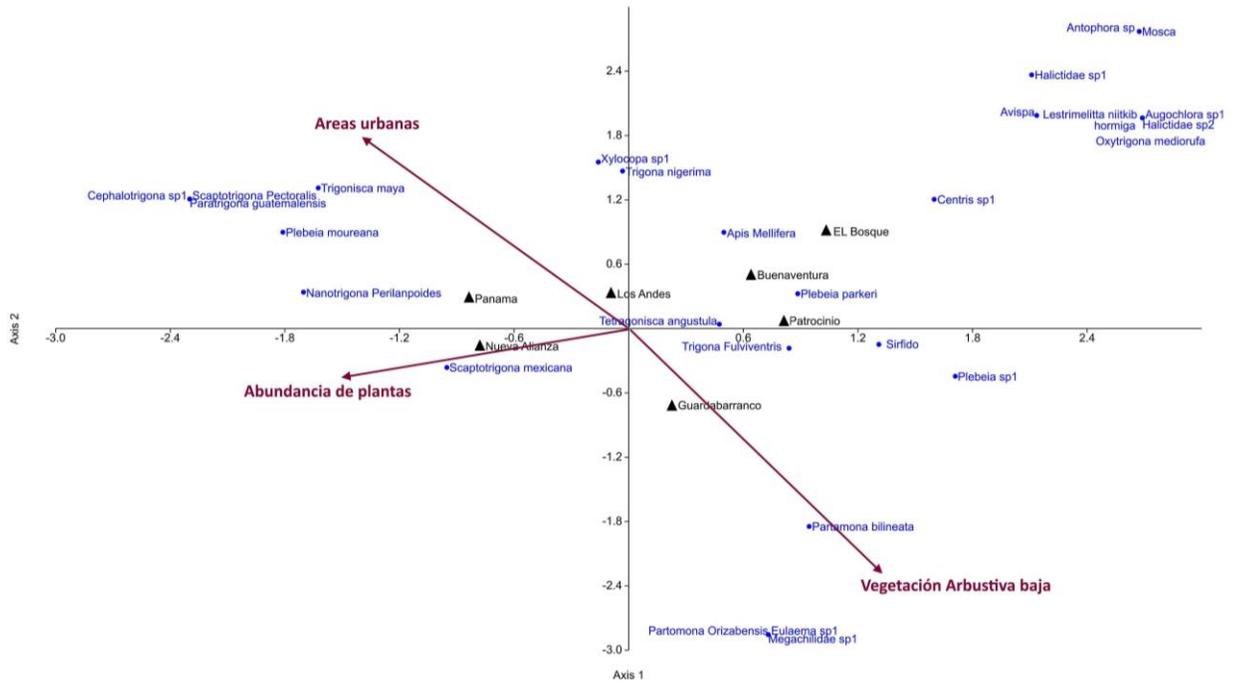


Figura 11. Canonical correspondence analysis (CCA) para analizar el efecto del paisaje sobre la composición de abejas colectadas sobre café.

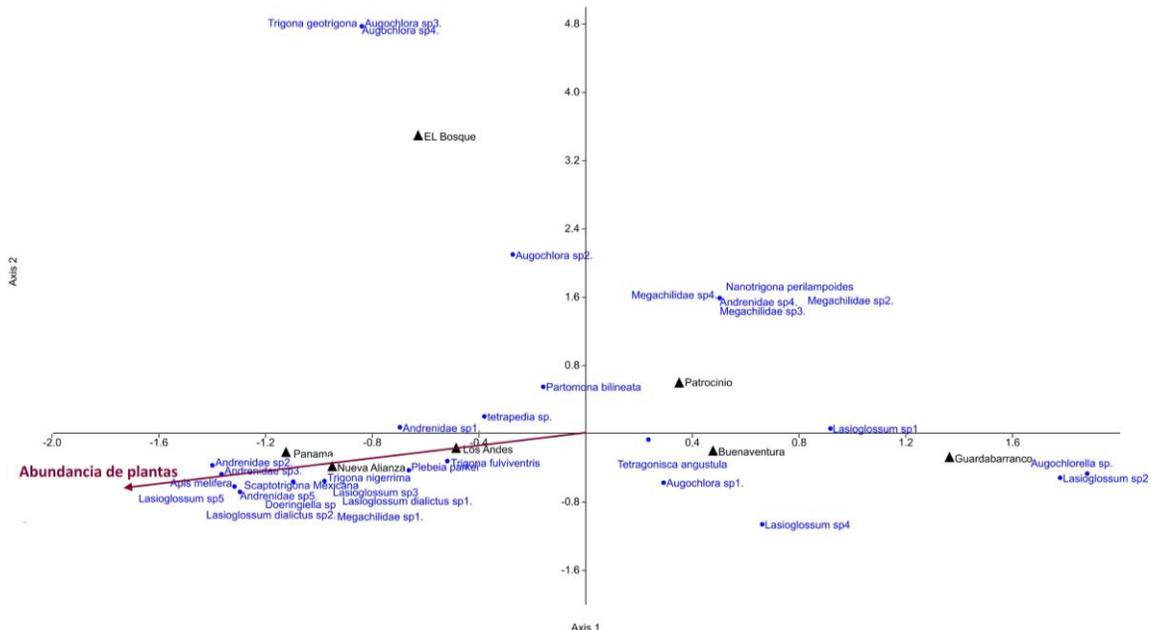


Figura 12. Canonical correspondence analysis (CCA) para analizar el efecto del paisaje sobre la composición de abejas colectadas sobre vegetación asociada.

### **13.4. Eficiencia de polinización del café y efecto de variables del paisaje y comunidad de abejas.**

#### **13.4.1. Eficiencia de la polinización**

Usando datos que incluyen flores fallidas, se observó que las flores de polinización abierta (tratamiento A), que representan polinización proporcionada por insectos, proporcionaron un 44.25% de granos de café ( $\pm 26.16\%$  SD semillas por fruto; alrededor de 5 frutos por cada 12 flores en cada inflorescencia de café) y peso de fruta de 0.78 gr ( $\pm 0.36$  gr SD), pero las flores de polinización cruzada a mano (tratamiento M) son las que produjeron más frutos (media = 48.51%,  $\pm 35.83\%$  SD) y producen las frutas más pesadas (media = 0.81 gr  $\pm 0.38$  SD gr), mientras que las flores sin polinización son las que producen menos frutos (31.78%  $\pm 25.12\%$  SD) con menos peso (0.62  $\pm 0.40$  SD). Al analizar todos los tratamientos juntos se encontró diferencia significativa entre los tratamientos (pruebas de Kruskal-Wallis: peso del fruto,  $W = 19.34$ ,  $P < 0.01$ ; conjunto de frutos por inflorescencia,  $W = 22.36$ ,  $P < 0.01$ ). Al comparar en detalle se observa que solo el tratamiento cerrado fue significativamente diferente a los demás tratamientos (Mann – Whitney – Wilcoxon: abierta; porcentaje de granos de café:  $Z = 17.77$ ,  $P < 0.01$ ; peso del fruto:  $Z = 17.20$ ,  $P < 0.01$ . Manual; porcentaje de granos de café:  $Z = 17.20$ ,  $P < 0.01$ ; peso del fruto:  $Z = 17.30$ ,  $P < 0.01$ ). Los análisis que excluyeron las flores fallidas dieron resultados similares.

El índice del servicio de polinización (PSP) que va de 0-1, donde 0 significa no eficiencia de la polinización de abejas y 1 significa 100% eficiencia. En nuestros datos pudimos observar un promedio de PSP para peso del fruto ( $PSP_{\text{peso}}$ ) de 84.17 ( $\pm 0.14$  SD; Tabla 3; Figura 13) sugiriendo que las abejas son responsables del 84% del peso de cada fruto. Para el éxito en la producción de frutos se observó que el  $PSP_{\text{éxito}}$  fue 67.63 ( $\pm 0.31$  SD) sugiriendo que las abejas eran responsables del 68% de los frutos producidos (Tabla 3; Figura 13). Se puede observar además

que para los sitios 2 y el orgánico de 3 el servicio de polinización provisto por abejas fue bastante alto tanto para el peso del fruto como para el porcentaje de éxito, el sitio 4A se agrega con un 100% de eficiencia en la producción del fruto por parte de abejas.

Tabla 3. Valores de PSP para cada población para peso del fruto y porcentaje de éxito.

Número	SITIOS	Peso del fruto	% Éxito
1 <sup>a</sup>	<b>Nueva_Alianza</b>	0.7215	0.0843
1B	<b>Patrocinio</b>	0.8057	0.3884
2 <sup>a</sup>	<b>Los_Andes</b>	0.9840	0.9435
2B	<b>Panamá</b>	1.0000	0.9056
3 <sup>a</sup>	<b>Guardabarranca</b>	0.9765	0.6053
3B	<b>El_Bosque</b>	0.7448	0.8070
4 <sup>a</sup>	<b>Buenaventura</b>	0.6595	1.0000

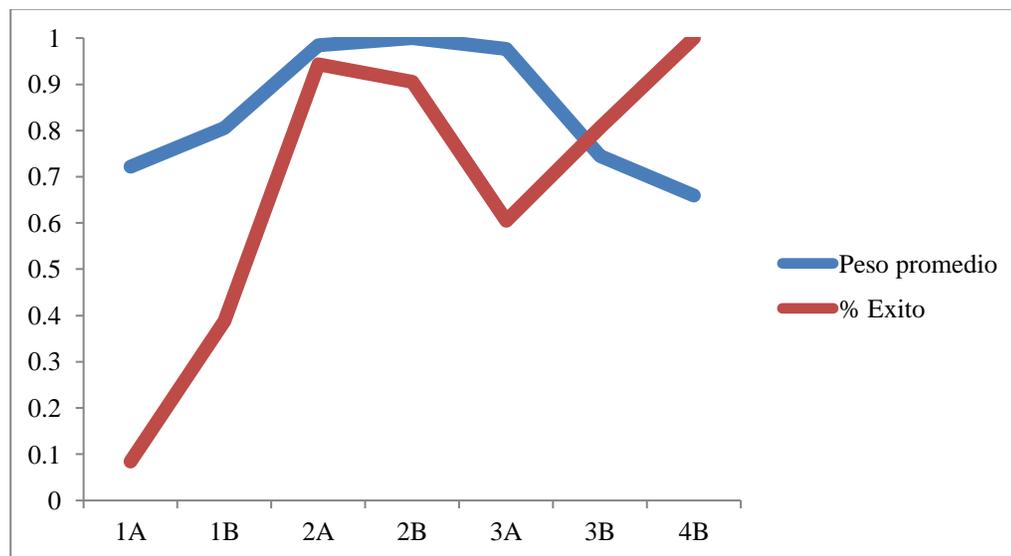


Figura 13. Valores de PSP para cada población para peso del fruto y porcentaje de éxito de producción de frutos.

#### **13.4.2. Efecto de variables del paisaje y comunidad de abejas en el servicio de polinización.**

Con el fin de determinar la eficiencia de polinización brindada por abejas al café y de la misma manera determinar si existían factores del ambiente que influyeran en dicha eficiencia, se analizaron los valores de peso del fruto y éxito de producción del fruto como proxies para conocer el valor de la polinización del café provisto por abejas. Se observa que para el peso de los frutos del café solamente la composición de abejas en cultivo de café fue significativa, mientras que en el éxito de producción de fruto se observa que la riqueza de abejas en la vegetación asociada y la composición de flores en la misma fueron importantes.

También se observa que la riqueza de abejas en vegetación asociada fue influenciada significativamente por riqueza de plantas mientras que la composición de abejas fue influenciada por la agricultura, composición de abejas en vegetación asociada y la riqueza de plantas en la misma área (Tabla 4).

Tabla 4. Modelos lineales analizando el efecto de variables de la comunidad de abejas y del paisaje sobre la eficiencia de polinización del café

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
Peso promedio					
<b>LCBD.abejas</b>	-2.6253	1.2924	-2.631	0.04793	*
% éxito					
<b>Riqueza de abejas vegetación asociada</b>	-0.04997	0.01863	-2.683	0.04366	*
<b>LCBD.plantas</b>	19.42	9.083	2.638	0.04855	*
Riqueza de abejas vegetación asociada					
<b>Riqueza de plantas</b>	0.2677	0.1309	2.044	0.041	*
LCBD de abejas					
<b>Agricultura</b>	2.9487878	0.171376	17.207	0.000428	***
<b>Riqueza de plantas</b>	-0.0028316	0.004945	-8.995	0.047899	*
<b>LCBD de abejas vegetación asociada</b>	-1.9295187	0.459102	-4.203	0.024588	*

## 14 Discusión

### 14.1 Biodiversidad de abejas en café y en vegetación asociada

#### 14.1.1 Comunidad de abejas en café y en vegetación asociada.

La diversidad de visitantes florales del café encontrada es relativamente baja (23 especies), así mismo la diversidad de abejas encontrada en la vegetación asociada al café no aportó ninguna especie nueva a la diversidad total (11 especies). Como en la mayoría de ecosistemas, los polinizadores más importantes son las abejas (18 especies). Entre estas, los meliponinos (10 especies) juegan un papel muy importante, que dentro de las especies dominantes encontramos a *S. mexicana*, *A. mellifera*, *T. angustula*, *T. fulviventris*, *P. bilineata*, *P. moureana*, *P. parkeri*, *T. nigerrima*, *T. maya*. Nos llama mucho la atención que una finca de café ubicada en Villa Canales presentó el mayor índice de diversidad de Shannon (1.82), muy diferente en cuanto a composición de especies comparada con el resto

de fincas de café. Las Fincas Guardabarranca y Buena Ventura más cercanas entre sí, geográficamente, son similares en cuanto a composición de especies, con varias especies compartidas. Por otro lado, Patrocinio, Los Andes y Panamá son similares entre sí. La diversidad beta promedio para todos los sitios fue baja (0.5).

#### **14.1.2 Comparación de diversidad y composición de abejas colectadas en café y vegetación asociada**

La diversidad de abejas colectadas sobre el café fue mayor comparada con la diversidad de abejas colectadas en la vegetación asociada. Esto puede deberse a un efecto de la atracción que las flores del café representan, ya que los muestreos se realizan en temporada de floración. Ya se ha demostrado con anterioridad que las fuentes de flores en cultivos pueden desviar el flujo de visitantes florales hacia otros cultivos o áreas con flores debido a competencia de estas áreas (Grab, Blitzer, Danforth, Loeb, & Poveda, 2017). Un punto importante a mencionar son las condiciones de humedad y exposición al sol que han demostrado ser determinantes para la floración en café (DaMatta & Cochicho-Ramalho, 2006; Ramírez et al., 2010), lo que sugiere que de igual forma ante stress hídrico la vegetación asociada tendrá una tendencia a presentar menor cantidad de flores como se observó en las áreas de muestreo, proporcionando menor área de forrajeo disponible para abejas silvestres.

Por otro lado, la composición (LCBD; figura 5) fue relativamente similar entre café y vegetación asociada, sugiriendo que las condiciones ambientales y de paisaje son similares para ambas áreas. La asociación de las poblaciones de abejas colectadas sobre café sugiere una relación con el tipo de manejo, que probablemente por la presencia de insecticidas, afectan el cambio de especies en las áreas muestreadas, creando un mayor cambio de especies de un sitio a otro (Figura 6). Este resultado fue reforzado por los análisis del cambio de diversidad entre sitios (Figura 8), donde también se observa un mayor cambio en las áreas con manejo convencional o químico (áreas B).

Sin embargo, la diversidad de abejas colectadas sobre flores en la vegetación asociada tienden estar relacionadas con el tipo de ecosistema al cual pertenecían las poblaciones (Figura 7), lo cual una vez más sugiere que al no haber presencia de químicos en vegetación asociada la diversidad se asocia más a las condiciones ambientales para cada región, contrariamente, aunque no tan fuerte como se observa para las abejas colectadas sobre café, cuando se analiza el cambio de diversidad para abejas colectadas en vegetación asociada (Figura 9), sugiriendo que aunque las áreas de vegetación asociada se asocian debido a condiciones del paisaje y el ambiente, puede ser que la presencia de químicos en las fincas del café tienden a afectar la composición y cambio de especies de las áreas asociadas también. La disminución de la riqueza y abundancia de abejas silvestres en cultivos y huertas debido al uso de químicos en años consecutivos, ya ha sido demostrada para otros estudios (Park, Blitzer, Gibbs, Losey y Danforth, 2015) apoyando nuestros encuentros del efecto del tipo de manejo en las áreas estudiadas.

#### **14.2 Biodiversidad de vegetación en las proximidades del café.**

Solamente un sitio orgánico presento mayor diversidad para la cantidad de plantas visitadas, lo cual sugiere que en dicho sitio existía mayor diversidad de plantas con flor. Sin embargo, en general, la diversidad y composición de plantas no fue diferente en el resto de los sitios, sugiriendo una estabilidad de las interacciones entre las abejas y las plantas que visitan independiente del ecosistema y tipo de manejo.

El estudio de la vegetación asociada es importante, debido a que en muchos estudios la abundancia y diversidad de plantas con flores, ya sea en jardines tradicionales, áreas heterogéneas o sombra en los cultivos ha sido observada como un factor determinante para la presencia de abejas en cultivos (Landaverde et al., 2017; Ngo et al., 2013; Potts, Biesmeijer, Kremen, Neumann, Schweiger, & Kunin, 2010). El estudio de redes de polinizadores en vegetación asociada e interacciones en el café puede proporcionar una mejor perspectiva de la dinámica de poblaciones de abejas y como esta afecta el servicio de polinización provisto al café.

### **14.3 Efecto de variables del paisaje y manejo en la diversidad de abejas en café.**

Se encontró que para las abejas colectadas en café las variables del ambiente que fueron significativas fueron la abundancia de plantas, el porcentaje de vegetación arbustiva baja y el porcentaje de áreas urbanas (Figura 11). Mientras que para la composición de abejas colectadas en vegetación asociada únicamente la abundancia de plantas mostro un efecto significativo sobre la composición de abejas en el café.

El porcentaje de vegetación arbustiva baja y el porcentaje de áreas urbanas han sido variables que han mostrado con anterioridad afectar significativamente la diversidad de abejas. Esto es debido a la heterogeneidad que este tipo de áreas proporcionan ya sea por la presencia de jardines con plantas con flores en las áreas urbanas, áreas con regeneración secundaria o vegetación variada como áreas con pasto u otras especies bajas como arbustos que funcionan como pasto para especies de pastoreo o la mezcla de ambos (Christmann, Aw-Hassan, Rajabov, Khamraev, & Tsivelikas, 2017; Landaverde et al, 2017). En particular las áreas bajas arbustivas parecen estar relacionadas con abejas generalistas y robustas como especies del genero *Partamona*, que pueden realizar un buen aprovechamiento de los recursos proporcionados por estas áreas, mientras que especies de abejas sin aguijón (*Trigonisca maya*, *Scaptotrigona pectoralis*, *Nanotrigona perilampoides*) frecuentemente relacionadas con la presencia de asentamientos humanos y que indirectamente están relacionadas con manejo de abejas ancestral (Vit, Roubik, & Pedro, 2013), parecen ser influenciadas por las áreas urbanas, sugiriendo que este tipo de manejo tradicional de abejas puede tener un rol.

Un punto interesante en el presente estudio es que la abundancia de plantas con flores en ambas áreas (áreas de café y vegetación asociada) fue significativa, lo cual refuerza lo que recientes estudios han mostrado que condiciones locales más que del paisaje tienen fuerte influencia en la composición y diversidad de comunidades de abejas, debido a que la presencia de plantas con flores en las proximidades de los cultivos proporcionan el recurso alimenticio necesario para que las abejas puedan persistir cuando por ejemplo la floración

del café ha acabado (Blaauw & Isaacs, 2014; Potts et al., 2010), sugiriendo de esta manera que en áreas de cultivo de café la presencia de vegetación secundaria o de áreas adicionales con plantas con flor que proporcionen este recurso es importante para proveer diversidad de abejas para este cultivo.

#### **14.4. Eficiencia de polinización del café y efecto de variables del paisaje y comunidad de abejas.**

##### **14.4.1 Eficiencia de la polinización**

Los valores de éxito de producción de frutos para ambos tratamientos de polinización abierta y manual (44-49% de éxito) dieron valores similares a los encontrados en otros experimentos de polinización del café. En Costa Rica, por ejemplo, las abejas proporcionaron hasta un 36% de la polinización (Roubik, 2002b), mientras que en otros estudios de revisión se encontró que la presencia de abejas contribuyó a incrementar la producción de café incluso para plantas de café con auto-fertilización como *Coffea arabica* (Klein et. al., 2003a). De igual manera el porcentaje de frutos producidos por auto-polinización también dio valores similares a los encontrados en varios estudios sobre producción de café donde se encontraron valores de 12.46-16.72% menos que para los tratamientos de polinización por abejas y manual respectivamente (Klein et. al., 2003b).

Se pudo encontrar que los tratamientos de polinización por abejas y polinización a mano no presentaron diferenciación significativa. Sin embargo ambos tratamientos fueron significativamente diferentes del tratamiento sin polinización. Lo cual claramente demuestra que a pesar de que *Coffea arabica* puede producir fruto por auto-fertilización se beneficia de la presencia de abejas incrementando su producción en hasta un 40% lo cual también fue observado en Costa Rica por Roubik (2002b).

Aparte de la contribución a la polinización por parte de las abejas, también estábamos interesados en determinar cuánto del porcentaje de polinización extra encontrado en los tratamientos de polinización por abejas y manual (12.46-16.72% respectivamente) era

exclusivo a la presencia de las abejas y de este modo determinar su eficiencia como polinizadores. Para ello se usó el índice del servicio de polinización (PSP) que va de 0-1, donde 0 significa no eficiencia de la polinización de abejas y 1 significa 100% eficiencia. Se observó un  $PSP_{\text{peso}}$  de 84.17%, sugiriendo que las abejas son responsables del 84% del peso de cada fruto y un  $PSP_{\text{éxito}}$  del 67.63% sugiriendo que las abejas eran responsables del 68% de los frutos producidos (Tabla 2; Figura 13). Estos valores de servicio de polinización una vez más demuestran que la presencia de abejas no solo es importante para incrementar la producción de café sino que también tienen una contribución fuerte en la producción del mismo y el peso del fruto. Resultados similares se pudieron encontrar en la eficiencia de polinización de abejas en otros cultivos como habanero (*Capsicum chinense*) donde se encontró que las abejas silvestres eran responsables del 79% del peso del fruto producido (Landaverde et al., 2017), siendo incluso en el presente trabajo mayor la eficiencia de las abejas en la producción del fruto de café 84%. Individualmente se observa que ciertos sitios en particular orgánicos tuvieron valores altos de eficiencia de polinización provisto por abejas (mayores del 95%) estos sitios fueron en su mayoría orgánicos o sitios rodeados de bosque y café con sombra. Lo que refuerza que la presencia de bosque y áreas naturales es importante para la provisión de abejas y por lo tanto del servicio de polinización.

#### **14.4.2 Efecto de variables del paisaje y comunidad de abejas sobre servicio de polinización.**

Se observó que para el peso de los frutos del café solamente la composición de abejas en cultivo de café afectó en forma negativa y significativa, mientras que en el éxito de producción de fruto se observó que la riqueza de abejas en la vegetación asociada también fue negativa significativamente. Ambas variables composición y riqueza de abejas son sinónimos de la presencia de diferentes especies de abejas, por lo cual puede considerarse que la misma tuvo un efecto negativo en el servicio de polinización en café. Esto ha sido observado con anterioridad en varios cultivos, en donde se pudo observar que es la abundancia de abejas dominantes y no la riqueza de las mismas los que conducen el servicio de polinización (Winfrey, Fox, Williams, Reilly, & Cariveau, 2015), sin embargo a

pesar de que ya existen trabajos previos de análisis del servicio de polinización de abejas al café esta es la primera vez que la producción, en particular el peso del fruto del café, se relaciona directamente con variables de la comunidad de abejas y directa comparación con otros estudios en café no es posible.

Por otro lado la composición de flores en la vegetación asociada fue positivamente significativa sobre el éxito de producción de café, esto solo refuerza lo que se ha observado anteriormente del positivo efecto que la presencia y abundancia de flores tiene sobre las comunidades de abejas, lo cual probablemente favorece a abejas dominantes y generalistas como *Scaptotrigona mexicana* al proveer recursos alimenticios variables a través de las flores (Blaauw & Isaacs, 2014; Potts et al., 2010).

Anteriormente se había observado que la abundancia de abejas tenía influencia sobre la composición de abejas, ahora al analizar individualmente las variables de la composición de la comunidad de abejas también se observa que la riqueza de abejas en vegetación asociada fue influenciada positiva y significativamente por riqueza de plantas, lo cual una vez más refuerza la importancia de la presencia del recurso floral como una fuente de alimento para incrementar la diversidad de abejas, pero también la abundancia de las mismas para que puedan proveer el servicio de polinización en este caso para café (Blaauw & Isaacs, 2014; Potts et al., 2010; Scheper et al., 2015).

La composición de abejas en café fue positivamente influenciada por la agricultura, esto a pesar de ser un poco controversial pues sugiere que la presencia de agricultura no es dañina para las poblaciones de abejas, puede deberse a un efecto indirecto de la composición interna de las fincas de café. La mayoría de estas en particular las pertenecientes a café orgánico poseían otras plantas para proveer sombra al café que también producían flores, siendo de esta manera las fincas del café áreas heterogéneas también que proporcionaban recursos alimenticios. Además el muestreo se realizó durante el período de la floración masiva del café por lo cual definitivamente estas atraían a las poblaciones de abejas. Por

todo lo anterior debe discutirse con precaución que la presencia de áreas agrícolas parecen ser beneficiosas para las poblaciones de abejas ya que este efecto puede ser altamente dependiente de la existencia de áreas, setos u otras especies que proporcionen abundancia floral dentro de los cultivos como ya ha sido reportado anteriormente (Scheper et al., 2015).

La composición de abejas en café también fue negativamente afectada por la composición de abejas en vegetación asociada y por la riqueza de plantas en la misma área lo cual es contrario a lo encontrado para riqueza de abejas en vegetación asociada. Sin embargo estos resultados sugieren la existencia de una dinámica de competencia entre ambas áreas (área de café y de vegetación asociada) en las que debido a la floración masiva del café es probable que las abejas se vean principalmente atraídas a los cultivos mostrando de esta manera como para la composición de abejas en vegetación asociada la composición de plantas con flores es importante mientras que para la comunidad de abejas esta composición solo causa competencia y desvió de la diversidad de abejas del cultivo de café a áreas con diversidad de flores. Por eso mismo la composición de abejas en áreas de café se ve negativamente afectada cuando la composición varía en áreas de vegetación asociada, indicando que si bien estas áreas pueden proporcionar un recurso para mantener la diversidad de abejas si existe una floración simultánea puede producir una competencia del recurso de polinizadores para los cultivos del café. Grab y colaboradores (2017) ya demostraron que la superposición espacial y temporal entre la floración en masa entre cultivos y/o áreas aledañas que proporcionen flores altera la fuerza y la dirección de la dinámica de polinización por abejas y sugiere que los rendimientos pueden optimizarse diseñando sistemas agrícolas que eviten la competencia y maximicen la facilitación. De esta manera debe analizarse a más detalle la dinámica de polinización y de la presencia de recurso floral dentro y alrededor de cultivos de café para incrementar la producción de este fruto de gran importancia económica para el país.

## 15 Conclusiones.

- ✓ Las abejas más abundantes en café *Apis mellifera*, *Partamona bilineata*, *Scaptotrigona fulviventris*, *Tetragonisca angustula* y *Trigona fulviventris*. En la vegetación asociada *Lasioglossum sp1*, *Lasioglossum sp2*, *Tetragonisca angustula*, *Tetrapedia sp.*, *Trigona fulviventris* y *Trigona geotrigona*.
- ✓ La diversidad de visitantes florales en general fue baja, y como en la mayoría de ecosistemas, los polinizadores más importantes son las abejas (18 especies), entre las cuales destacan los meliponinos (10 especies).
- ✓ La diversidad de abejas (abundancia y riqueza) colectadas sobre el café fue mayor comparada con la diversidad de abejas colectadas en la vegetación asociada lo cual puede asociarse a la atracción que las flores del café representan, ya que los muestreos se realizan en temporada de floración.
- ✓ La composición de abejas en áreas de café y áreas de vegetación asociada fue relativamente similar sugiriendo que las condiciones ambientales y de paisaje son similares para ambas áreas.
- ✓ La asociación de las poblaciones de abejas colectadas sobre café que sugiere una relación del tipo de manejo probablemente debido a la presencia de insecticidas.
- ✓ La diversidad de abejas colectadas sobre flores de la vegetación asociada tienden estar relacionadas con el tipo de ecosistema al cual pertenecían las poblaciones, lo cual una vez más sugiere que al no haber presencia de químicos en vegetación asociada estos se asocian más de acuerdo a condiciones ambientales para cada región.
- ✓ En general, la diversidad y composición de plantas no fue diferente entre los sitios, sugiriendo una estabilidad de las interacciones entre las abejas y las plantas que visitan independiente del ecosistema y tipo de manejo, sin embargo, estudios más detallados de estas relaciones son necesarios para tener una mejor perspectiva de la dinámica de poblaciones de abejas y como esta afecta el servicio de polinización provisto al café.
- ✓ Se encontró que para las abejas colectadas en café las variables del ambiente que fueron significativas fueron la abundancia de plantas, el porcentaje de vegetación arbustiva baja y el porcentaje de áreas urbanas lo cual puede ser debido a la

heterogeneidad que este tipo de áreas proporcionan para que las abejas encuentren recursos alimenticios y de anidación.

✓ La composición de abejas colectadas en vegetación asociada únicamente la abundancia de plantas mostro un efecto significativo sobre la composición de abejas en el café reforzando que condiciones locales más que del paisaje tienen fuerte influencia en la composición y diversidad de comunidades de abejas.

✓ Los valores de éxito de producción de frutos para ambos tratamientos de polinización abierta y manual (44-49% de éxito) dieron valores similares a los encontrados en otros experimentos de polinización del café, como en Costa Rica donde se encontró hasta 36% de la polinización.

✓ Los tratamientos de polinización por abejas y polinización a mano fueron significativamente diferentes y mayores del tratamiento sin polinización, demostrando que a pesar de que *Coffea arabica* puede producir fruto por auto-fertilización se beneficia de la presencia de abejas incrementando su producción en hasta un 40% lo cual también fue observado en Costa Rica.

✓ Se observó un  $PSP_{\text{peso}}$  de 84.17%, sugiriendo que las abejas son responsables del 84% del peso de cada fruto y un  $PSP_{\text{éxito}}$  del 67.63% sugiriendo que las abejas eran responsables del 68% de los frutos producidos, demostrando que la presencia de abejas son importantes para incrementar la producción de café y en el incremento del peso del fruto.

✓ Individualmente se observa que ciertos sitios en particular orgánicos tuvieron valores altos de eficiencia de polinización provisto por abejas (mayores del 95%) estos sitios fueron en su mayoría orgánicos o sitios rodeados de bosque y café con sombra. Lo que refuerza que la presencia de bosque y áreas naturales es importante para la provisión de abejas y por lo tanto del servicio de polinización.

✓ El peso de los frutos del café y el éxito de producción de fruto fueron afectados de forma negativa por la composición y riqueza de abejas en cultivo de café, lo cual puede deberse a como ha sido sugerido que solo la abundancia de especies dominantes dirigen el servicio de polinización a cultivos, sin embargo esta es la primera vez que la producción,

en particular el peso del fruto del café, se relaciona directamente con variables de la comunidad de abejas y directa comparación con otros estudios en café no es posible.

✓ Por otro lado la composición de flores en la vegetación asociada fue positivamente significativa sobre el éxito de producción de café, esto solo refuerza lo que se ha observado anteriormente del positivo efecto que la presencia y abundancia de flores tiene sobre las comunidades de abejas, lo cual probablemente favorece a abejas dominantes y generalistas como *Scaptotrigona mexicana* para proveer el servicio de polinización.

✓ La riqueza de abejas en vegetación asociada fue influenciada positiva y significativamente por riqueza de plantas, lo cual una vez más refuerza la importancia de la presencia del recurso floral como una fuente de alimento para incrementar la diversidad de abejas que puedan proveer servicio de polinización a diversos cultivos.

✓ La composición de abejas en café fue positivamente influenciada por la agricultura, esto puede deberse a un efecto indirecto de las composición interna de las fincas de café. La mayoría de estas en particular las pertenecientes a café orgánico poseían otras plantas para proveer sombra al café que también producían flores, convirtiéndolas en áreas heterogéneas que proporcionaban recursos alimenticios.

✓ La composición de abejas en café también fue negativamente afectada por la composición de abejas en vegetación asociada y por la riqueza de plantas en la misma área lo cual es contrario a lo encontrado para riqueza de abejas en vegetación asociada. Sin embargo estos resultados sugieren la existencia de una dinámica de competencia entre ambas áreas (área de café y de vegetación asociada).

## **16 Impacto obtenido**

Se ha observado que la abundancia de ciertas especies de abejas silvestres y la presencia de la abeja melífera está directamente relacionada con la provisión de polinización al café por lo que se recomienda el uso el incentivo de la crianza y uso de abejas silvestres en particular abejas sin aguijón para los servicios de polinización de cultivos. Lo más importante es que en el presente estudio se demuestra que la presencia de abejas incrementa

la producción de café en hasta un 40% a pesar de que *Coffea arabica* posee auto-fertilización. Por lo cual ante la actual crisis de decaimiento en la producción de café, el uso de abejas puede ayudar a incrementar y hacer más eficiente su productividad.

La implementación de setos o áreas de vegetación natural ayudan a mantener la comunidad de abejas, favoreciendo particularmente la riqueza de abejas. Sin embargo, en este estudio y en otros estudios para otros cultivos se ha observado que este proceso debe ser manejado adecuadamente pues puede generar competencia en particular si la floración se da al mismo tiempo. Este es el primer estudio donde este efecto de competencia entre áreas de vegetación asociada al café y los cultivos de café se observa por primera vez, por lo cual se recomienda realizar estudios más detallados para saber cómo un manejo adecuado de estas áreas permitiría incrementar la producción de café con la presencia de polinizadores sin que exista competencia entre las mismas.

## 17 Referencias

- Ackerman, J. (2000). Abiotic pollen and pollination: ecological functional and evolutionary perspectives. *Plant Systematic and Evolution*, 222(1-4), 167-185. doi: 10.1007/BF00984101
- Ascher, J. S., & Pickering, J. (2017). *Bee Species Guide (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila)*. Iowa: Iowa State University. Recuperado de <https://bugguide.net/node/view/468583>.
- Ashman, T., Knight, T. M., Steets, J. A., Amarasekare, P., Burd, M., Campbell, D. R., ... Wilson, W. G. (2004). Pollen limitation of plant reproduction: ecological and evolutionary causes and consequences. *Ecology*, 85(9), 2408-2421. doi: 10.1890/03-8024
- Ayala, R. (1999). Revision de las abejas sin aguijon de Mexico (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Folia Entomologica Mexicana*, 106(1), 1-123.
- Badilla, F., & Ramírez, B. (1991). Polinización de café por *Apis mellifera* L. y otros insectos en Costa Rica. *Turrialba*, 41(3), 285– 288.
- Bawa, K. (1990). Plant-pollinator interactions in Tropical Rain Forests. *Annual review of Ecology and systematics*, 21(1), 399-422.

- Biesmeijer, J.C., Roberts, S.P., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., y Peeters, T., ... Kunin, W.E. (2006). Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313(5785), 351-354. doi: 10.1126/science.1127863
- Blaauw, B. R., & Isaacs, R. (2014). Flower plantings increase wild bee abundance and the pollination services provided to a pollination-dependent crop. *Journal of Applied Ecology*, 51(4), 890-898. doi: 10.1111/1365-2664.12257
- Brosi, B. J., Daily, G. C., Shih, T. M., Oviedo, F., & Durán, G. (2008). The effects of forest fragmentation on bee communities in tropical countryside. *Journal of Applied Ecology*, 45(3), 773-783. doi:10.1111/j.1365-2664.2007.01412.x
- Brosi, B., Daily, G.C., & Ehrlich, P.R. (2007). Bee community shifts with landscape context in a tropical countryside. *Ecological Applications*, 17(2), 418-430. doi: 10.1890/06-0029
- Buchmann, S., & Nabhan, G. (1996). *The forgotten pollinators*. Washington: Island Press.
- Burd, M. (1994). Bateman's principle and plant Reproduction: the role of pollen limitation in fruit and seed set. *The Botanical Review*, 60(1), 83-139.
- Camargo, D., Rocha, M. d., Kosloski, G., Elejalde, D., Bremm, C., Pötter, L., ... Neto, R O. (2009). Forage intake by supplemented lambs on pearl millet pasture. *Ciência Rural*, 39(2), 509-514. doi 10.1590/S0103-84782008005000083
- Chapin, F., Zavaleta, E.S., Eviner, V.T., Naylor, R. L., Vitousek, P.M., Reynolds, H.L., ... Díaz, S. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405(6783), 234-242. doi: 10.1038/35012241
- Chapin III, F.S., Matson, P.A., & Mooney, H. (2002). *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Nueva York: Springer-Verlag.
- Charrier, A. (1971). Étude de la pollinisation des caféiers par marquage du pollen au phosphore (32P) et au soufre (36S) radioactifs. *Café Cacao Thé*, 15, 181-190.
- Crane, E., & Walker, P. (1983). Pollination of tropical and subtropical crops by bees. En: E. Crane., & P. Walker (Eds.), *The impact of pest management on bees and pollination* (pp. 5-21). Londres: Tropical Development and Research Institute.
- Christmann, S., Aw-Hassan, A., Rajabov, T., Khamraev, A. S., & Tsivelikas, A. (2017). Farming with alternative pollinators increases yields and incomes of cucumber and sour cherry. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(27), 1-8. doi: 10.1007/s13593-017-0433-y
- Colwell, R. K. (2013). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples (Version 9) [Software]. Recuperado de <http://purl.oclc.org/estimates>.
- Daily, G. (1997). *Nature's services: Societal dependence on Natural Ecosystems*. Washington: Island Press.

- DaMatta, F. M., & Cochicho-Ramalho, J. D. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 55-81. doi: 10.1590/S1677-04202006000100006
- Davis, A., Govaerts, R., Bridson, D., & Stoffelen, P. (2006). Annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of Linnean Society*, 152(4), 465-512. doi:10.1111/j.1095-8339.2006.00584.x
- De Castro, R., & Marraccini, P. (2006). Cytology biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 175-199. doi: 10.1590/S1677-04202006000100013
- Ferwerda, F. (1948). Coffee breeding in Java. *Economic Botany*, 2(3), 258-272. doi: 10.1007/BF02859068
- Free, J.B. (1993). *Insect pollination of crops*. Londres: Academic Press.
- Foley, J., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., ... Synder, P.K. (2005). Global Consequences of Land Use. *Science*, 309(5734), 570-574. doi: 10.1126/science.1111772
- Ghazoul, J. (2005). Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(7), 367-373. doi: 10.1016/j.tree.2005.04.026
- Glimm-Lacy, J., & Kauffman, P. (2006). *Botany Illustrated: Introduction to plants, major groups, flowering plant families*. New York: Springer Science.
- Grab, H., Blitzer, E. J., Danforth, B., Loeb, G., & Poveda, K. (2017). Temporally dependent pollinator competition and facilitation with mass flowering crops affects yield in co-blooming crops. *Scientific Report*, 7(45296), 1- 9. doi: 10.1038/srep45296
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1-9.
- Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. (2016). *Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production*. Recuperado de <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-26331-synthese-ipbes-decideurs-pollinisateurs.pdf>.
- International Coffee Organization. (2017). *Total production by all exporting countries*. Recuperado de <http://www.ico.org/prices/po-production.pdf>
- Kevan, P. G., & Viana, B. F. (2003). The global decline of pollination services. *Biodiversity*. 4(4),3-8. doi: 10.1080/14888386.2003.9712703
- Kimani, M., Little, T., & Voss, G. (2002). *Introduction to coffee management through discovery learning*. Nairobi: CABI Bioscience.

- Kevan, P., & Phillips, T. (2001). The economics of pollinator declines: assessing the consequences. *Conservation Ecology*, 5(1). Recuperado de: <https://www.ecologyandsociety.org/vol5/iss1/art8/>
- Klein, A.M., Steffan-Dewenter, I., & Tscharntke, T. (2003a) Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society B*, 270(1518), 955-961. doi: 10.1098%2Frspb.2002.2306
- Klein, A.M., Steffan-Dewenter, I., & Tscharntke, T. (2003b). Bee pollination and fruit set of *Coffea arabica* and *C. canephora* (Rubiaceae). *American Journal of Botany*, 90(1), 153-157. doi: 10.3732/ajb.90.1.153
- Klein, A.M., Vaissière, B., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremer, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of Royal Society B*, 274(1608), 303–313. doi: 10.1098%2Frspb.2006.3721
- Kremen, C., Williams, N. M., & Thorp, R. W. (2002). Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Science*, 99(26), 16812-16816. doi: 10.1073/pnas.262413599
- Landaverde-González, P., Quezada-Euán, J. J., Theodorou, P., Murray, T., Hussemann, M., Ayala, R., & Paxton, R. (2016). Sweat bees on hot chillies: provision of pollination services by native bees in traditional slash-and-burn agriculture in the Yucatan Peninsula of tropical Mexico. *Journal of Applied Ecology*, 54(6), 1814–1824. doi: 10.5061/dryad.jk111/4
- Lambin, F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., ... Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11, 261-269. doi: 10.1016/S0959-3780(01)00007-3
- Laurance, W. (2010). Habitat destruction: death by a thousand cuts. En: N. Sodhi., y Ehrlich, P. (Eds.), *Conservation Biology for All* (pp. 73-87). Nueva York: Oxford University Press.
- Le Pelley, R. (1973). Coffee insects. *Annual Review of Entomology*. 18(1), 121-142. doi: 10.1146/annurev.en.18.010173.001005
- Magurran, A. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*. Nueva Jersey: Princeton University Press.
- Masarirambi, M., Chingwara, V., & Shongwe, V. D. (2009). The effect of synchronization of coffee (*Coffea arabica* L.) flowering and berry ripening at Chipinge, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 34(13-16), 786-789. doi: 10.1016/j.pce.2009.06.013
- McDonald, J. (1930). *Coffee growing: with special reference to East Africa*. London: East Africa Ltd.

- McGregor, S. (1976). *Insect pollination of cultivated crop plants*. Washington, D. C.: US Department of Agriculture.
- Meléndez-Ramírez, V., S. Magaña-Rueda, V. Parra-Tabla, R. Ayala & Navarro, J. (2002). Diversity of native bee visitors of cucurbit crops (Cucurbitaceae) in Yucatán, México. *Journal of Insect Conservation* 6(3):135–147. doi: 10.1023/A:1023219920798
- Meneses-Calvillo, L., Meléndez-Ramírez, V., Parra-Tabla, V., & Navarro, J. (2010). Bee diversity in a fragmented landscape of the Mexican neotropic. *Journal of Insect Conservation*, 14(4), 323-334. doi: 10.1007/s10841-010-9262-x
- Michener, C. (2007). *The Bees of the World*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Naeem, S., & Li, S. (1997). Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature*, 390(6659), 507-509. doi: 10.1038/37348
- Ngo, H., Mojica, A., & Packer, L. (2011). Coffee plant–pollinator interactions: a review. *Canadian Journal of Zoology*, 89(8), 647-660. doi: 10.1139/z11-028
- Ngo, H., Gibbs, J., Griswold, T., & Packer, L. (2013). Evaluating bee (Hymenoptera: Apoidea) diversity using Malaise traps in coffee landscapes of Costa Rica. *The Canadian Entomologist*, 145(4), 435-453. doi: 10.4039/tce.2013.16
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, R., & Helene, W. (2011). vegan: Community Ecology Package (Version R Package version 2.0-2). Recuperado de <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321-326. doi: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x
- Park, M., Blitzer, E. J., Gibbs, J., Losey, J. E., & Danforth, B. (2015). Negative effects of pesticides on wild bee communities can be buffered by landscape context. *Proceedings of Royal Society B*, 282(20150299). doi: 10.1098/rspb.2015.0299
- Peterson, R., & McKenny, M. (1998). *A field guide to wildflowers: northeastern and north-central North America*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt.
- Potts, S. G., Vulliamy, B., Dafni, A., Ne'eman, G., & Willmer, P. (2003). Linking bees and flowers: How do floral communities structure pollinator communities? *Ecology*, 84(10), 2628-2642. doi: 10.1890/02-0136
- Ramírez, V. H., Archilla, J., Jaramillo, A., Rendón-S, J., Cuesta G, G., Menza F, H., ... Peña, A. (2010). Floración del café en Colombia y su relación con la disponibilidad hídrica, térmica y de brillo solar. *Cenicafé*, 61(2), 132-158.
- Rader, R., Reilly, J., Bartomeus, I., & Winfree, R. (2013). Native bees buffer the negative impact of climate warming on honey bee pollination of watermelon crops. *Global Change Biology*, 19(10), 2103-3110. doi: 10.1111/gcb.1226.
- Ramalho, M., Kleinert-Giovannini, A., & Imperatriz-Fonseca, V.L. (1990). Important bee plants for stingless bees (Melipona and Trigonini) and Africanized honeybees (Apis mellifera) in neotropical habitats: a review. *Apidologie*, 21(5), 469–488. doi:10.1051/apido:19900508.

- R Development Core Team, R. (2014). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Recuperado de <http://www.R-project.org>.
- Richards, A. J. (2001). Does Low Biodiversity Resulting from Modern Agricultural Practice Affect Crop Pollination and Yield?. *Annals of Botany*, 88(2), 165–172. doi: 10.1006/anbo.2001.1463
- Ricketts, T. (2004). Tropical Forest Fragments Enhance Pollinator Activity in Nearby Coffee Crops. *Conservation Biology*, 18(5), 1262-1271. doi: 10.1111/j.15231739.2004.00227.x
- Roubik, D. (2002a). Feral African honeybees augment neotropical coffee yield. En: P. G. Kevan., y V. L. Imperatriz-Fonseca (Eds.), *Pollinating bees: the conservation link between agriculture and nature* (pp. 255 – 266). Brasilia, Brazil. Ministerio de Ambiente/Brasilia.
- Roubik, D. (2002b). The value of bees to the coffee harvest. *Nature*, 417(708).
- Roubik, D. (Ed.). (1995). *Pollination of cultivated plants in the tropics (Vol. Bulletin 118)*. Roma: FAO Agricultural Services.
- Roubik, D. (Ed.). (1992). *Ecology and natural history of tropical bees (Cambridge Tropical Biological Series)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Saturni, F., Jaffé, F., & Metzger, P. (2016). Landscape structure influence bee community and coffee pollination at different spatial scales. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 235(1), 1-12. doi: 10.1016/j.agee.2016.10.008
- Sekercioglu, C. H. (2010). Ecosystem Services Ecosystem functioning and services. En: N.S. Sodhi and P.R. Ehrlich (Eds.), *Conservation Biology for All* (pp. 45-72). Nueva York, Estados Unidos de Norteamérica: Oxford University Press.
- Scheper, J., Bommarco, R., Holzschuh, A., Potts, S. G., Riedinger, V., Roberts, S. P. M., ... Kleijn, D. (2015). Local and landscape-level floral resources explain effects of wildflower strips on wild bees across four European countries. *Journal of Applied Ecology*, 52(5), 1165-1175. doi: 10.1111/1365-2664.12479
- Steffan-Dewenter, I., Potts, S., & Packer, L. (2005). Pollinator diversity and crop pollination services are at risk. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(12), 651-652. doi: 10.1016/j.tree.2005.09.004.
- Steffan-Dewenter, I., Münzenberg, U., Bürger, C., Thies, C., & Tschardtke, T. (2002). Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecology*, 83(5), 1421-1432. doi: 10.2307/3071954
- Tilman, D., Wedin, D., & Knops, J. (1996). Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature*, 379(6567), 718–720. doi: 10.1038/379718a0

- Turnbull, L.A., Crawley, M.J., & Rees, M. (2000). Are plant populations seed-limited? A review of seed sowing experiments. *Oikos*, 88(2), 225–238. doi: 10.1034/j.1600-0706.2000.880201.x
- Turner, B.L., Clark, W.C., Kates, R.W., Richards, J.F., Mathews, J.T., & Meyer, W.B. (Eds.). (1990). *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere Over the Past 300 Years*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Veddeler, D., Klein, A., & Tschardtke, T. (2006). Contrasting responses of bee communities to coffee flowering at different spatial scales. *Oikos*, 112(3), 594–601. doi:10.1111/j.0030-1299.2006.14111.x
- Vergara, C. H., & Badano, E. I. (2008). Pollinator diversity increases fruit production in Mexican coffee plantations: the importance of rustic management systems. *Agriculture Ecosystem & Environment*, 129(1-3), 117–123. doi: 10.1016/j.agee.2008.08.001
- Viera, H. (2008). Coffee: the plant and its cultivation. En: R, Souza. (Ed.), *Plant parasitic nematodes of coffee* (pp. 3-18). Dordrecht, Springer Science.
- Vit, P., Roubik, D. W., & Pedro, S. R. M. (2013). *Pot Honey; A legacy of stingless bees* New York: Springer.
- Westerkamp, C., & Gottsberger, G. (2000). Diversity pays in crop pollination. *Crop Science*, 40(5), 1209-1222.
- Willmer, P.G., & Stone, G.N. (1989). Incidence of entomophilous pollination of lowland coffee (*Coffea canephora*): the role of leaf cutter bees in Papua New Guinea. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 50(2), 113–124. doi: 10.1111/j.1570-7458.1989.tb02380.x
- Winfrey, R., Fox, J., Williams, N. M., Reilly, J., & Cariveau, D. (2015). Abundance of common species, not species richness, drives delivery of a real-world ecosystem service. *Ecology Letters*, 18(7), 626–635. doi: 10.1111/ele.12424

## 18. Anexo

Listado de especies reportadas visitando las flores de café y la vegetación asociada en los alrededores de las fincas de café

Familia	Especie	Coffea sp.	Vegetación silvestre
<b>Apidae</b>			
a	Anthophoridae sp 1	x	
b	<i>Apis mellifera</i> L., 1758	x	x
a	<i>Centris</i> sp.	x	
a	<i>Cephalotrigona</i> sp.	x	
a	<i>Eulema</i> sp.	x	
a	<i>Nannotrigona perilampoides</i> (Cresson, 1878)	x	x
b	<i>Partamona bilineata</i> (Say, 1837)	x	x
b	<i>Plebeia moureana</i> Ayala, 1999	x	
b	<i>Plebeia parkeri</i> Ayala, 1999	x	x
b	<i>Scaptotrigona mexicana</i> Guérin-Méneville, 1845	x	x
a	<i>Scaptotrigona pectoralis</i> (Dalla Torre, 1896)	x	
b	<i>Tetragonisca angustula</i> (Latrielle, 1811)	x	x
b	<i>Trigona fulviventris</i> Guérin-Méneville, 1844	x	
b	<i>Trigona nigerrima</i> Cresson, 1878	x	x
b	<i>Trigonisca maya</i> Ayala, 1999	x	x
a	<i>Xylocopa</i> sp		
<b>Halictidae</b>			
b	Halictidae sp 1	x	x
a	Halictidae sp 2	x	x
<b>Megachilidae</b>			
a	Megachilidae sp 1	x	x
<b>Syrphidae</b>			
a	Syrphidae sp 1	x	
<b>Vespoidea</b>			
a	Vespoidea sp 1	x	
<b>Formicidae</b>			
a	Formicidae sp 1	x	
<b>Otros</b>			
a	Mosca 1	x	
a	Avispa 1	x	

a= especie rara,  $DR \leq 5\%$ , b=especie dominante,  $DR > 5\%$

## **19 Apéndice**

Manuscrito científico de proyecto de investigación

### **Visitantes florales del café en Guatemala**

#### **Diversidad de insectos visitantes florales del café (*Coffea arabica*) y su relación con el tipo de manejo agrícola en Guatemala**

Eunice Enríquez, Patricia Landaverde, Quebin Casiá, Javier Morales, Natalia Escobedo  
Centro de Estudios Conservacionistas, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia,  
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Autor de correspondencia. correo  
electrónico: enriquez.eu@gmail.com, Avenida Reforma 0-63 zona 10, Ciudad de  
Guatemala, Guatemala.

Patricia Landaverde

General Zoology, Institute of Biology, Martin-Luther University Halle-Wittenberg, Hoher  
Weg 8, 06120 Halle (Saale), Germany

## **Diversidad de insectos visitantes florales del café (*Coffea arabica*) y su relación con el tipo de manejo en Guatemala**

Eunice Enríquez<sup>1</sup>, Patricia Landaverde<sup>2</sup>, Quebin Casiá<sup>1</sup>, Javier Morales<sup>1</sup>, Natalia Escobedo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudios Conservacionistas, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. <sup>2</sup> General Zoology, Institute of Biology, Martin-Luther University Halle-Wittenberg, Hoher Weg 8, 06120 Halle (Saale), Germany

### **Resumen**

La polinización animal es importante para la reproducción sexual de muchos cultivos y la mayoría de las plantas silvestres. En los agro-ecosistemas existen algunos factores que pueden afectar la diversidad de insectos polinizadores y la polinización, como por ejemplo, el manejo agrícola, la disponibilidad de recursos para los polinizadores, entre otros. Las abejas y otros insectos proveen servicios de polinización que son clave para determinar el set de frutos en plantaciones de café, incrementándolo en cerca del 10.5%. Se ha reportado que las granjas orgánicas soportan comunidades diversas de polinizadores, incluso si se encuentran alejadas de fragmentos de bosque. En el presente trabajo se analizó la diversidad y composición de las comunidades de abejas silvestres y su conducta de pecoreo en cultivos de café orgánico y convencional en Guatemala, para poder implementar estrategias que favorezcan a los polinizadores y una mayor producción de frutos. La diversidad de visitantes florales del café fue baja y los polinizadores más importantes fueron abejas, principalmente meliponinos. Existe una distribución del recurso floral en la comunidad de abejas y el comportamiento de colecta de los recursos florales es diferente entre las especies. La diversidad de las abejas en general, la riqueza y la abundancia en particular no se asocia al tipo de manejo agrícola del café, ya sea orgánico o convencional. Con los resultados del presente trabajo se espera que los caficultores pueden incrementar las prácticas agrícolas que mejoren la diversidad de polinizadores y por lo tanto la producción de frutos.

## Introducción

La polinización animal es importante para la reproducción sexual de muchos cultivos (Westerkamp & Gottsberger 2000) y la mayoría de las plantas silvestres (Burd, 1994, Ashman et al., 2004). Alrededor del 87.5% de las plantas con flores son polinizadas por animales (Ollerton et al., 2011), entre estos, las abejas conforman un alto porcentaje (Buchmann & Nabham, 1996). Entre el 89 y el 99% de todas las especies de plantas con flores en bosques tropicales de tierras bajas son polinizados por animales Bawa (1990); y un tercio de la dieta humana total en países tropicales se deriva de plantas polinizadas por insectos (Crane y Walker, 1983). Roubik (1995) menciona que alrededor del 70% de los cultivos tropicales tienen al menos una variedad donde la producción es mejorada por la polinización animal, principalmente abejas silvestres. A pesar de su importante papel como vectores del polen, estudios específicos sobre polinizadores y polinización en áreas neotropicales son raros (Bawa et al., 1990; Roubik, 1992).

En los agro-ecosistemas existen algunos factores que pueden afectar la diversidad de insectos polinizadores y la polinización, como por ejemplo la dinámica de la poblacional, la eficiencia diferencial en la polinización, la competencia entre plantas cultivadas y silvestres por polinizadores, la disposición de parches de vegetación entre los cultivos, la disponibilidad de recursos para los polinizadores, los sistemas de manejo de las plantas cultivadas, la existencia de herbívora, la disponibilidad de nutrientes y condiciones micro climáticas (Turnbull, Crawley & Rees, 2000), entre otros. Conocer cómo estos factores afectan cada uno de estos sistemas agrícolas y específicamente como afectan a los polinizadores y la polinización es necesario para tomar medidas que favorezcan la producción de frutos.

Algunos estudios realizados en sistemas de polinización del café de tierras bajas (*Coffea Canephora* Pierre ex Froehner) y del café de alta montaña (*Coffea arabica* L.) en Indonesia se ha encontrado evidencia significativa de que las abejas silvestres contribuyen al incremento de frutos de café en ambas especies (Klein et al., 2003). Las abejas y otros insectos proveen servicios de polinización que son clave para determinar el set de frutos en plantaciones de café, incrementándolo en cerca del 10.5%. Se ha reportado que el manejo

convencional de las fincas agrícolas, usando insumos sintéticos, pueden promover polinizadores, especialmente si están cercanos a fragmentos de áreas naturales. Sin embargo, las granjas orgánicas también soportan comunidades diversas de polinizadores, incluso si se encuentran alejadas de fragmentos de bosque (Bravo-Monroy, Tzanopoulos, & Potts, 2015)

Guatemala es uno de los cuatro países más importantes en la en cuanto a la producción de café. Por lo que, es necesario el estudio del efecto del manejo de los agro-ecosistemas de café en Guatemala, sobre la comunidades de abejas, para poder recomendar estrategias de manejo que favorezcan a las comunidades de abejas, la polinización e incrementen la producción. En el presente trabajo se analizó la diversidad y composición de las comunidades de abejas silvestres en cultivos de café orgánico y convencional en Guatemala para identificar un patrón de alta diversidad de especies de abejas silvestres. Además de determinar variaciones en las comunidades de abejas silvestres en las plantaciones de café orgánico y convencional en Guatemala. Se hipotetizó que la disponibilidad de hábitat para anidamiento y de alimentos que es probable que se encuentren en plantaciones de café orgánico que benefician de manera positiva una alta diversidad de especies de abejas y al mismo tiempo podrían permitir una mayor producción de frutos debido a un incremento del servicio de la polinización provisto las comunidades de abejas silvestres.

## **Materiales y métodos**

### *Área de estudio*

Se escogieron 7 sitios a lo largo de la zona cafetalera de Guatemala, en los cuales se trabajó en pares de cultivos en cada sitio (un cultivo orgánico y un cultivo de café convencional). Los pares de cultivos seleccionados se localizan en Santa Bárbara (Suchitepéquez), El Palmar (Quetzaltenango) y Villa Nueva (Guatemala); además de un cultivo extra en San Miguel Dueñas (Sacatepéquez). Todas las fincas de café seleccionadas son parte de las Reservas Naturales Privadas de Guatemala, las cuales cuentan con áreas de bosque para su conservación mezclados con algunos cultivos agrícolas como, macadamia, Cacao, etc.

### *Riqueza y abundancia y conducta de visitantes florales*

Durante el pico de floración del café (abril-mayo) en el año 2018, se registró la riqueza y abundancia de visitantes sobre grupos florales (25-100 flores de café). Las observaciones se realizaron de 9:00 a 16:00 hrs. Durante cada observación, el investigador observaba durante 5 min por grupo floral, en una rama de cada planta de café, y posteriormente se registró la especie de insecto que llegaba al grupo de flores. Así mismo, se registró la conducta del insecto visitante (colecta de recursos, florales, tiempo en la flor u número de flores vistas). Debido a su fácil reconocimiento las abejas no fueron colectadas, pero sí registradas. Se realizaron las observaciones al menos en 30 plantas de café. Se realizaron colectas en los alrededores de los cultivos de café durante 1 hr para comprar la diversidad de especies que visitan el café con la presente en la vegetación de los alrededores.

#### *Voucher de los especímenes*

Todos los especímenes fueron montados en alfileres entomológicos, etiquetados y depositados en la Colección de Abejas Nativas de Guatemala (CANG), del Centro de Estudios Conservacionistas, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

#### *Análisis estadísticos*

Se estimó la diversidad Alfa y diversidad Beta de las abejas que visitan en café en cada una de las plantaciones de café seleccionadas. Según Meléndez-Ramírez et al. (2002), se estimó la Dominancia Relativa (DR) para cada una de las especies sumando la abundancia relativa (abundancia por especie/abundancia total x 100) más la frecuencia relativa (frecuencia por especie/frecuencia total x 100) dividido dentro de dos, para obtener los valores de DR entre 0 y 100%. Especies con  $DR \leq 5\%$  fueron considerados como raras y no dominantes, mientras que las especies  $DR > 5\%$  fueron consideradas como abundantes o dominantes. Para evaluar la complementariedad del muestreo realizado, se calculó para cada finca evaluada el estimador no paramétrico Chao1; se usó el valor promedio del estimador para calcular el porcentaje de especies del total que fueron colectadas durante el muestreo. En cada finca de café se estimaron los siguientes estimadores no paramétricos para las medidas de diversidad: Índice de Shannon-Wiener (H), Índice de Simpson (Magurran 1988) con el paquete Vegan del software R 3.4.4 (R Development Core Team, 2013); Para analizar la beta diversidad, primero se calculó la medida de similaridad basada en Jacard entre las

fincas de café. Luego se calculó el recambio de especies entre las fincas de café con el paquete vegan del software R (R Development Core Team, 2013) usando el índice de la beta diversidad de Whittaker ( $\beta_w$ ) (Koleff et al. 2009). Finalmente, se calculó la beta diversidad total promediando los valores de beta diversidad obtenidos en cada par de todas las posibles combinaciones entre las 7 fincas ( $n = 21$  comparaciones). Para evaluar si existe diferencia entre las cinco especies más abundantes ( $N=245$  en total), visitantes florales del café, y el tiempo que permanecen en la flor de café, así como la hora a la cual la visitan, se realizó la prueba no paramétrica de kruskal-Wallis (software JMP v.8). Para evaluar si existe diferencia en cuanto al patrón de colecta de recursos florales (visita nectario, visita la antera, colecta polen, trae polen) entre las cinco especies más abundantes, visitantes florales del café, se realizó un análisis de contingencia (software JMP v.8). Para evaluar si existe diferencia entre la riqueza y abundancia de abejas visitantes florales del café y el tipo de manejo se realizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon (software JMP v.8). Así mismo para evaluar si existe diferencia significativa en la riqueza y abundancia de abejas y la finca evaluada, así como el departamento evaluados, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (software JMP v.8).

## Resultados

### *Riqueza y abundancia de visitantes florales*

Se han colectaron un total de 188 especímenes de visitantes florales en los cultivos de café durante 222 observaciones. Se registró un total de 23 especies de visitantes florales, de los cuales el 47% se colectó en la vegetación asociada al café (11 especies), todas ellas se encontraron también visitando el café. De total de especies visitantes florales del café el 78% son abejas (18 especies). Así mismo el 43.5% son meliponinos (10 especies; tabla 2). Del total de especies solo 10 son dominantes, es decir con una  $DR > 5\%$ : *Scaptotrigona mexicana*, *Apis mellifera*, *Tetragonisca angustula*, *Trigona fulviventris*, *Partamona bilineata*, *Plebeia moureana*, *Plebia parkeri*, *Trigona nigérrima*, *Trigonisca maya* y *Halictidae sp.*, de las cuales ocho son meliponinos. La riqueza obtenida durante el muestreo con relación a la riqueza esperada es muy moderada (Chao1 70%). En cuanto a

diversidad de especies, la finca el Bosque, en Villa Canales presentó la mayor diversidad (Shannon= 1.82) y la finca Nueva alianza, en Retalhuleu, presentó la menor diversidad de especies (Shannon=1.06). En cuanto a la similitud de la composición de especies entre fincas de café, se observó la formación de los siguientes grupos: 1) El Bosque únicamente, 2) conformado por Guadabarranca y Buena Ventura, 3) Formado por Patrocinio, Los Andes y Panamá (Figura 3). La diversidad beta promedio para todos los sitios fue baja, de 0.5; y la LCBD mayor la presentó la finca Patrocinio.

#### *Conducta*

En cuanto a la conducta de las cinco especies dominantes, no se reportó diferencia significativa entre el tiempo que permanecen visitando la flor de café en las fincas evaluadas (Kruskal-Wallis  $X^2=5.46$ ;  $DF=4$ ,  $P=0.2426$ ). Sin embargo, sí se reporta diferencia significativa en la hora a la cual visitan el café (Kruskal-Wallis test  $X^2=16.3869$ ;  $DF=4$ ,  $P=0.0025^*$ ). Donde el promedio de la hora de visita en a la 13 hrs, sin embargo, *Tetragonisca angustula* presentó horarios más temprano (12hrs) y *Trigona fulviventris* presento horarios más tarde (14 hrs; Figura 6). Por otro lado sí se observó una diferencia significativa en cuanto al comportamiento de colecta de recursos florales brindados por el café, en las cinco especies más abundantes: 1) si lleva polen cuando visita la flor (Pearson  $X=59.907$ ,  $DF=4$ ,  $<0001^*$ ), 2) si recoge polen de la flor que visita (Pearson  $X=66.531$ ,  $DF=4$ ,  $<0001^*$ ), 3) si visita el nectario (Pearson  $X=66.228$ ,  $DF=4$ ,  $<0001^*$ ), 4) si toca la antera (Pearson  $X=34.454$ ,  $DF=4$ ,  $<0001^*$ ). El 83.58% de *S. mexicana* y el 80% de *T. angustula* llevan polen, mientras solo el 17% de *T. fulviventris* lleva polen. El 77.61% de *S. mexicana* y el 80% de *T. angustula* recogen polen, mientras solo el 14.63% de *T. fulviventris* recoge polen. El 89.66% de *A. mellifera*, 83.33% de *P. bilineata* y el 54.07% de *T. fulviventris* visitan el nectario. Solo *T. fulviventris* toca la antera en % menor al 56.10%, el resto el proporciones mayores al 76%.

#### *Relación de la diversidad de visitantes florales y el tipo de manejo*

En cuanto a los índices de diversidad, las fincas con manejo orgánico presentaron índices más bajos comparado con las fincas convencionales (Figura1). En cuanto a la relación de manejo agrícola del café, ya sea orgánico o convencional, con la riqueza y abundancia de

visitantes florales, no se encontró diferencia significativa (Abundancia, Wilcoxon test:  $X=0.3234$ ,  $DF=1$ ,  $P=0.5696$ ; Riqueza, Wilcoxon test:  $X=0.000$ ,  $DF=1$ ,  $P=0.9961$ ). Sin embargo, sí se encontró diferencia significativa en la riqueza y abundancia de visitantes florales y la finca de café evaluada (Abundancia, Kruskal-Wallis test:  $X=45.1189$ ,  $DF=6$ ,  $P<0.0001^*$ ; Riqueza, Kruskal-Wallis test:  $X=35.0063$ ,  $DF=6$ ,  $P<0.0001^*$ ). Así como, se encontró diferencias significativas con relación al departamento donde se ubicaron las fincas de café evaluadas (Abundancia, Kruskal-Wallis test:  $X=17.9809$ ,  $DF=3$ ,  $P=0.0004^*$ ; Riqueza, Kruskal-Wallis test:  $X=15.2545$ ,  $DF=3$ ,  $P=0.0016^*$ ).

## Discusión

La diversidad de visitantes florales del café encontrada en baja (23 especies), así mismo la diversidad de abejas encontrada en la vegetación asociada al café no aportó ninguna especie nueva a la diversidad total (11 especies). Como en la mayoría de ecosistemas, los polinizadores más importantes son las abejas (18 especies). Entre estas, los meliponinos (10 especies) juegan un papel muy importante, que dentro de las especies dominantes encontramos a *S. mexicana*, *A. mellifera*, *T. angustula*, *T. fulviventris*, *P. bilineata*, *P. moureana*, *P. parkeri*, *T. nigerrima*, *T. maya*. Nos llama mucho la atención que una finca de café ubicada en Villa Canales presentó el mayor índice de diversidad de Shannon (1.82), muy diferente en cuanto a composición de especies comparada con el resto de fincas de café. Las Fincas Guardabarranca y Buena Ventura más cercanas entre sí, geográficamente, son similares en cuanto a composición de especies, con varias especies compartidas. Por otro lado, Patrocinio, Los Andes y Panamá. La diversidad beta promedio para todos los sitios fue baja (0.5).

Existe una distribución del recurso floral en la comunidad de abejas visitantes florales del café, aunque la mayoría visita las flores de café a la 13 hrs, *T. angustula* pecorea más temprano y *T. fulviventris* más tarde. El comportamiento de colecta de los recursos florales ofrecidos por el café es diferente entre las especies de abejas, mientras *S. mexicana* y *T. angustula* buscan polen, *A. mellifera*, *P. bilineata* y *T. fulviventris* buscan el néctar.

La diversidad de las abejas en general, la riqueza y la abundancia en particular no se asocia al tipo de manejo agrícola del café, ya sea orgánico o convencional.

## Referencias

- Ashman, T., Knight, T. M., Steets, J. A., Amarasekare, P., Burd, M., Campbell, D. R.,...  
Wilson, W. G. (2004). Pollen limitation of plant reproduction: ecological and evolutionary causes and consequences. *Ecology*, 85, 2408-2421.
- Ayala, R. (1999). Revisión de las abejas sin aguijón de México. *Folia Entomologica*, 106, 1 – 122.
- Bawa, K. S. (1990). Plant-pollinator interactions in Tropical Rain Forests. *Annual review of Ecology and systematics*, 21(1), 399-422.
- Buchmann, S., y Nabhan, G. (1996). *The forgotten pollinators*. Washington, Estados Unidos de Norteamérica: Island Press.
- Burd, M. (1994). Bateman's principle and plant Reproduction: the role of pollen limitation in fruit and seed set. *The Botanical Review*, 60(1), 83-139.
- Crane, E., y Walker, P. (1983). Pollination of tropical and subtropical crops by bees. En: E. Crane., y P. Walker (Eds.), *The impact of pest management on bees and pollination* (pp. 5-21). Londres, Reino Unido: Tropical Development and Research Institute.
- Kevan, P., y Phillips, T. (2001). The economics of pollinator declines: assessing the consequences. *Conservation Ecology*, 5(1), 8.
- Klein, A.M., Steffan-Dewenter, I., y Tschamntcke, T. (2003a) Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society B*, 270, 955-961.
- Ollerton, J., Winfree, R., y Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120, 321-326.
- Richards, A.J. (2001). Does Low Biodiversity Resulting from Modern Agricultural Practice Affect Crop Pollination and Yield?. *Annals of Botany*, 88(2), 165–172.
- Roubik, D. (1995). *Pollination of cultivated plants in the tropics (Vol. Bulletin 118)*. Roma, Italia: FAO Agricultural Services.

Turnbull, L.A., Crawley, M.J., y Rees, M. (2000). Are plant populations seed-limited? A review of seed sowing experiments. *Oikos*, 88, 225 –238.

Westerkamp, C., y Gottsberger, G. (2000). Diversity pays in crop pollination. *Crop Science*, 40, 1209-1222.

Tabla 1. *Ubicación y características de manejo de las diferentes fincas de café donde se realizó los muestreos de los polinizadores*

No.	Departamento	Finca de Café	Tipo	Altitud	Coordenadas		% bosque (300m)	Características de manejo que favorecen presencia de polinizadores	% floración	variedad de muestreo
1	El Palmar, Quetzaltenango	Nueva Alianza	Orgánica	924	-91.64367	14.67047	0	10	0.9	salchimor
2		El Patrocinio	Convencional	770	-91.61017	14.66275	0	3	0.2	salchimor
3	Santa Barbara, Suchitepéquez	Panamá	Convencional	748	-91.19389	14.49597	0	2	1	catuaí
4		Los Andes	Orgánica	1097	-91.19281	14.52747	0.4	8	0.35	caturra
5	Villa Canales, Guatemala	Guardabarranca	Orgánica	1568	-90.49364	14.47972	0	6	0.7	caturra
6		El Bosque	Convencional	1389	-90.51789	14.48005	0	6	0.9	caturra
7	San Miguel Dueñas, Sacatepéquez	Buena Ventura	Convencional	1494			0.11	3	0.3	salchimor

Tabla 2. *Listado de especies reportadas visitando las flores de café y la vegetación asociada en los alrededores de las fincas de café*

Familia	Especie	Coffea sp.	Vegetación silvestre
<b>Apidae</b>			
a	Anthophoridae sp 1	x	
b	<i>Apis mellifera</i> L., 1758	x	x
a	<i>Centris</i> sp.	x	
a	<i>Cephalotrigona</i> sp.	x	
a	<i>Eulema</i> sp.	x	
a	<i>Nannotrigona perilampoides</i> (Cresson, 1878)	x	x
b	<i>Partamona bilineata</i> (Say, 1837)	x	x
b	<i>Plebeia moureana</i> Ayala, 1999	x	
b	<i>Plebeia parkeri</i> Ayala, 1999	x	x
b	<i>Scaptotrigona mexicana</i> Guérin-Méneville, 1845	x	x
a	<i>Scaptotrigona pectoralis</i> (Dalla Torre, 1896)	x	
b	<i>Tetragonisca angustula</i> (Latrielle, 1811)	x	x
b	<i>Trigona fulviventris</i> Guérin-Méneville, 1844	x	
b	<i>Trigona nigerrima</i> Cresson, 1878	x	x
b	<i>Trigonisca maya</i> Ayala, 1999	x	x
a	<i>Xylocopa</i> sp		
<b>Halictidae</b>			
b	Halictidae sp 1	x	x
a	Halictidae sp 2	x	x
<b>Megachilidae</b>			
a	Megachilidae sp 1	x	x
<b>Syrphidae</b>			
a	Syrphidae sp 1	x	
<b>Vespoidea</b>			
a	Vespoidea sp 1	x	
<b>Formicidae</b>			
a	Formicidae sp 1	x	
<b>Otros</b>			
a	Mosca 1	x	
a	Avispa 1	x	

a= especie rara,  $DR \leq 5\%$ , b=especie dominante,  $DR > 5\%$

Tabla 3. *Diversidad alfa y diversidad beta de la comunidad de visitantes florales del café*

Tipo de manejo	O	C	O	C	O	C	C
Fincas café	Alian	Patro	Ande	Pana	Guar	Bosq	Buena
Especies (S)	7	9	10	8	9	9	9
Abundancia (N)	66	14	113	114	180	38	62
Especies Comunesa	6	7	8	6	6	6	6
Especies Rarasb	1	2	2	2	3	3	3
Simpson_D	0.46	0.77	0.73	0.68	0.75	0.79	0.7
Shannon_H	1.06	1.78	1.52	1.51	1.56	<b>1.82</b>	1.61
LCBD	0.15	<b>0.21</b>	0.07	0.11	0.1	0.19	0.17
Chao-1	7	23	13	15	26	10.5	9

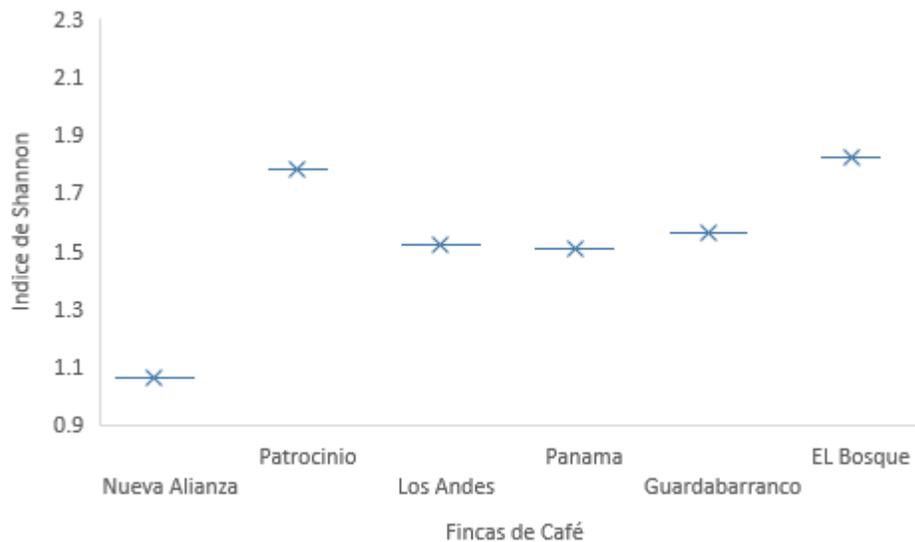


Figura 1. Índice de diversidad de Shannon de la comunidad de visitantes florales de cada una de las fincas de café

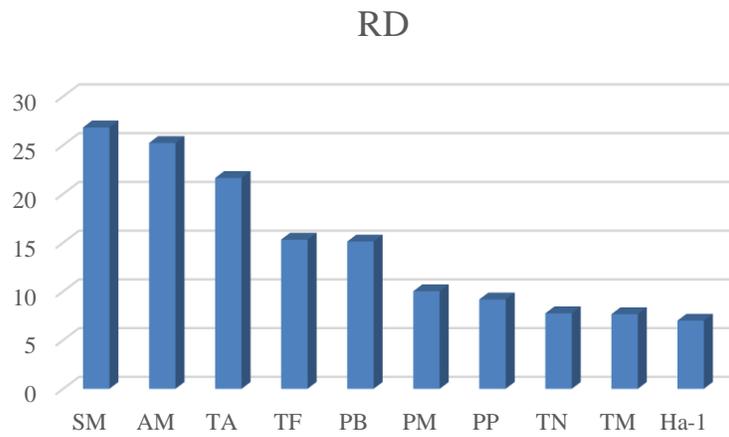


Figura 2. Dominancia Relativa de las 10 especies dominantes dentro de la comunidad de visitantes florales de café

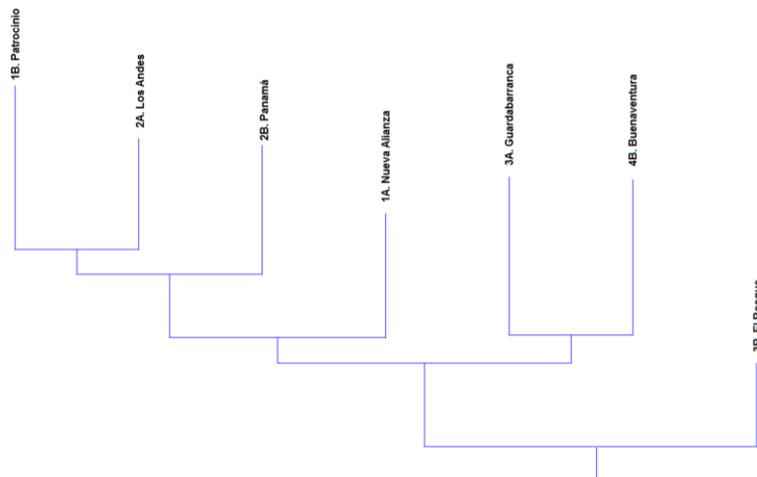


Figura 3. Índice de similitud de Jacard entre las comunidades de visitantes florales de café

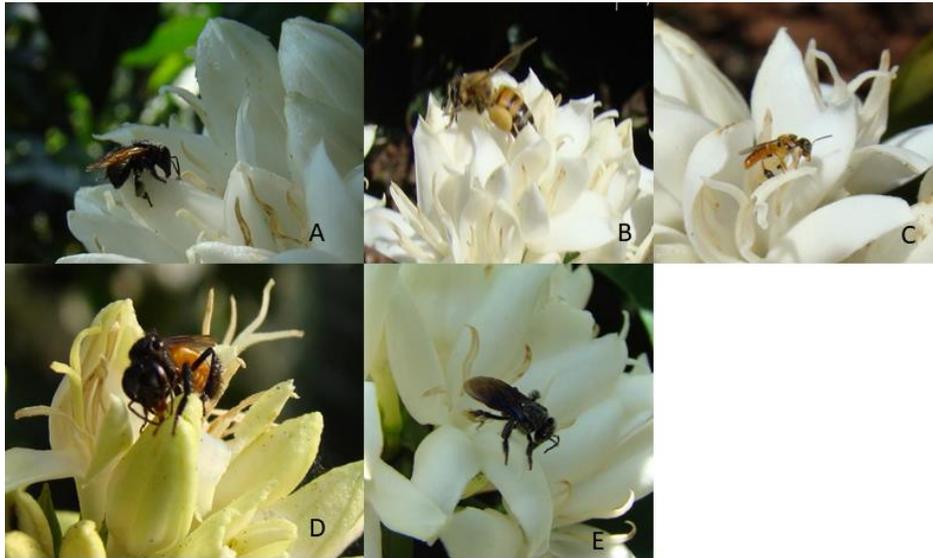


Figura 4. Fotografías de abejas en flor de café. A) *Scaptotrigona mexicana* B) *Apis mellifera* C) *Tetragonisca angustula* D) *Trigona fulviventris* y E) *Trigona nigerrima*

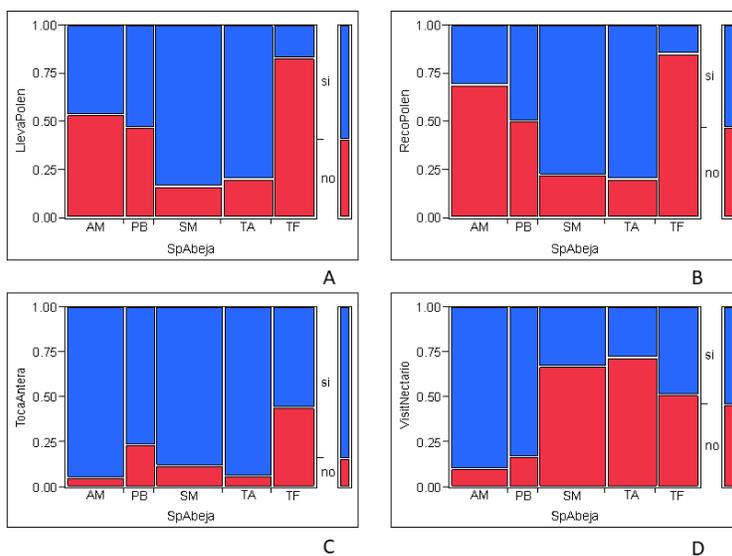


Figura 5. Conducta durante la visita al café de las cinco especies de abejas más abundantes

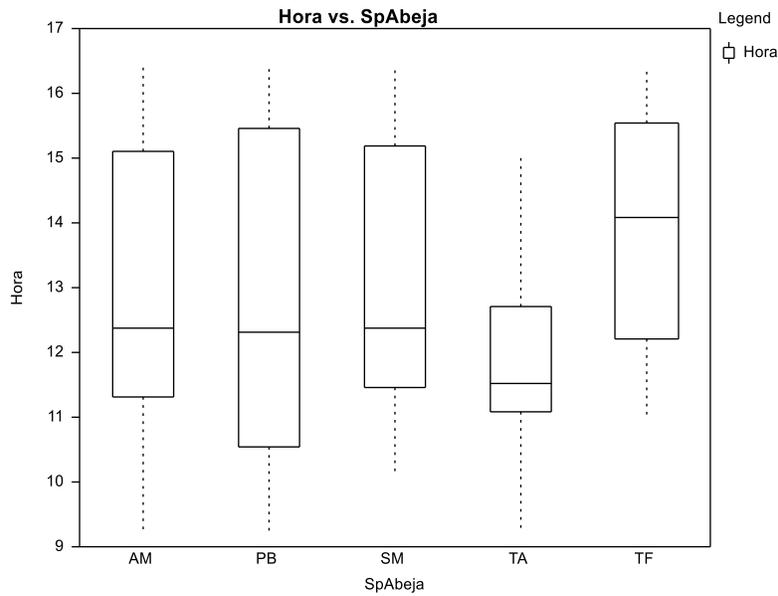


Figura 6. Hora de visita de las cinco especies de abejas dominantes a la flor del café.

**Listado de los integrantes del equipo de investigación (en una sola hoja)**

**Contratados por contraparte y colaboradores**

<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>
Natalia Escobedo	
Javier Morales	
Quebin Casiá	
Pedro Pardo	
Patricia Landaverde	

**Contratados por la Dirección General de Investigación**

<b>Nombre</b>	<b>Categoría</b>	<b>Registro de Personal</b>	<b>Pago</b>		<b>Firma</b>
			<b>SI</b>	<b>NO</b>	
Natalia Escobedo	<b>Investigadora</b>		<b>X</b>		
Javier Morales	<b>Auxiliar</b>		<b>X</b>		
Quebin Casiá	<b>Auxiliar</b>		<b>X</b>		

Guatemala 29 de noviembre del 2018

**Dra. Eunice Enríquez**

Nombre y firma Coordinador(a)

Proyecto de Investigación Partida Presupuestaria 4.8.63.8.60.

**Lic. Roberto Barrios**

Nombre y firma Coordinador

Programa Universitario de Investigación  
sobre estudios para la Paz

**Ing. Agr. MARN. Julio Rufino Salazar**

Nombre y firma

Coordinador General de Programas